



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



MODELADO ECONÓMICO DE SANTANDER: ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA VERDE Y RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

Trabajo realizado por:

Esther Barrios Crespo

Dirigido:

Saúl Torres Ortega

Pedro Díaz Simal

Titulación:

**Máster Universitario en Ingeniería
de Caminos, Canales y Puertos**

Santander, enero de 2021

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Agradecimientos

Quisiera agradecer, en primer lugar, a mis padres, por su cariño y apoyo incondicional.

A aquellos profesores que, con su labor docente, han fomentado mi motivación e interés en diversos ámbitos de la ingeniería y, a mis tutores, Saúl y Pedro, por sus correcciones y consejos durante el desarrollo de este Trabajo Fin de Máster.

Gracias a mi familia y amigos, por su apoyo, ayuda y cariño.

RESUMEN

“Modelado económico de Santander: análisis de la inversión en infraestructura verde y restauración de ecosistemas”

Autora: Esther Barrios Crespo

Directores: Saúl Torres Ortega (UC), Pedro Díaz Simal (UC)

Titulación: Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Convocatoria: Santander, febrero 2021

Palabras clave: Modelado económico, inversión, rentabilidad, indicadores de rentabilidad, análisis de sensibilidad, Vensim, ecosistemas, infraestructura verde y azul, servicios ecosistémicos, restauración de ecosistemas, biodiversidad, resiliencia, calidad de vida.

RESUMEN

En la actualidad, pese a los importantes avances tecnológicos y en el crecimiento económico que han elevado el nivel de vida de las personas considerablemente, el excesivo incremento en la escala de producción y consumo, así como las ineficiencias sistémicas y la mala gestión de los recursos y residuos han derivado en la pérdida de la diversidad biológica con las nefastas consecuencias para la salud y bienestar humanos, y para la capacidad de recuperación de la sociedad y el desarrollo sostenible que este hecho supone. Según el World Economic Forum, en el año 2020, cinco de los diez riesgos con mayor probabilidad de ocurrencia a los que debe hacer frente la sociedad actual, pertenecen a la categoría medioambiental: el clima extremo, el fracaso de la acción climática, los desastres naturales, la pérdida de biodiversidad y los desastres naturales de causas antrópicas. Los Objetivos para el Desarrollo Sostenible que marca la Agenda 2030, no podrán ser conseguidos bajo las tendencias actuales, según el IPBES (2019), y sólo podrán lograrse mediante la implementación de cambios transformadores en los ámbitos económico, social, político y tecnológico.

En el ámbito de la ingeniería civil, el predominio de actuaciones de artificialización e impermeabilización de las ciudades y, en definitiva, de la denominada “ingeniería gris” es cuestionada en aras de ser remplazadas o complementadas con nuevas tipologías de infraestructuras. Para lograr ciudades resilientes, es necesario proporcionar a la naturaleza el espacio que esta necesita. Según el IPBES (2019), un incremento en el uso de Infraestructura Verde y Azul y otras aproximaciones basadas en los ecosistemas suponen un avance en el desarrollo de la sostenibilidad urbana, al tiempo que refuerzan la mitigación y adaptación climática.

El presente Trabajo Fin de Máster tiene como objetivos principales la realización de un modelo económico mediante el software Vensim PLE, de la ciudad de Santander, que sea capaz de reproducir las complejas dinámicas urbanas y, a partir del cual, sea posible realizar un análisis de la rentabilidad económica y en términos de calidad de vida de la

inversión en conservación y regeneración de ecosistemas y en el uso de infraestructura verde y azul en entornos urbanos.

La metodología que se ha seguido para lograr los objetivos marcados comienza con un análisis del área de estudio, en el que se han identificado los diferentes usos del suelo y las zonas de especial importancia medioambiental y ecosistémica, así como las principales características demográficas, socioeconómicas y las principales amenazas a las que se enfrentan los ecosistemas de la zona. Además, se han identificado los indicadores de la calidad de vida de los habitantes de Santander, de forma que puedan ser tenidos en cuenta en el modelo económico.

La construcción del modelo económico en Vensim ha requerido la identificación del conjunto de variables de interés para el análisis que se pretende realizar, la imposición de relaciones entre las diferentes variables y la calibración del modelo a partir de los datos de los que se disponga sobre el área de estudio, con la finalidad de obtener un modelo cuyos resultados difieran de la realidad en la menor medida posible. De forma complementaria al proceso de calibración, se ha estimado necesario realizar un análisis de sensibilidad de las variables que se consideren críticas o de mayor importancia en el sistema, que permite observar ante la variación de qué parámetros se muestran estas variables más sensibles.

Con el objetivo de analizar la inversión en infraestructura verde y azul y en labores de conservación y restauración de ecosistemas, se considera de interés la simulación de tres escenarios que se diferencian en la existencia de un porcentaje del PIB destinado a la citada transformación de los ecosistemas y de la infraestructura urbana y, por último, en la implementación de políticas medioambientales y socioeconómicas. De este modo, a partir de los resultados obtenidos para cada una de las simulaciones, se ha llevado a cabo un proceso de análisis comparativo entre los diferentes escenarios. Por último, se aborda el análisis de rentabilidad económica, a partir de los valores que adquieren los indicadores económicos del modelo en los distintos escenarios.

Las conclusiones fundamentales del proyecto son, en primer lugar, la factibilidad de la realización de un modelo económico de una ciudad como Santander y, a su vez, las limitaciones que surgen en cuanto a la calidad y cantidad de información y existencia de datos que permitan una definición óptima del comportamiento de las variables y sus interrelaciones. Respecto a la rentabilidad de la inversión analizada, se concluye que, bajo los supuestos considerados, la inversión en infraestructura verde y en regeneración de ecosistemas es económica, medioambiental y socialmente rentable, además de en términos de calidad de vida.

ABSTRACT

“Economic modelling of Santander: analysis of investment in green infrastructure and ecosystem restoration”

Author: Esther Barrios Crespo

Directors: Saúl Torres Ortega (UC), Pedro Díaz Simal (UC)

Academic title: Master's Degree in civil Engineering, Canal and Port Engineering

Date: Santander, February 2021

Key words: Economic modelling, investment, cost-effectiveness, cost-effectiveness indicators, sensitivity analysis, Vensim, ecosystems, green and blue infrastructure, ecosystem services, ecosystem restoration, biodiversity, resilience, quality of life.

ABSTRACT

Nowadays, despite significant advances in technology and economic growth that have raised considerably people's standard of living, the excessive increase in the scale of production and consumption, as well as systemic inefficiencies and poor management of resources and waste, have led to the loss of biological diversity with the dire consequences for human health and well-being, and for the resilience of society and sustainable development that this entails. According to the World Economic Forum, by 2020, five of the ten most likely risks facing society today will relate to the environmental category: extreme weather, failure of climate action, natural disasters, loss of biodiversity and natural disasters of anthropogenic causes. The Sustainable Development Goals set out in the 2030 Agenda cannot be achieved under current trends, according to IPBES (2019), and can only be reached by implementing transformative changes in the economic, social, political, and technological spheres.

In the field of civil engineering, the predominance of artificialisation and imperviousness of cities and, in essence, of so-called "grey engineering" is being questioned in order to be replaced or complemented with new types of infrastructure. To achieve resilient cities, it is necessary to provide nature with the space it needs. According to IPBES (2019), an increased use of Green and Blue Infrastructure and other ecosystem-based approaches advances the development of urban sustainability while enhancing climate mitigation and adaptation.

The main objectives of this Master's thesis are to create an economic model of the city of Santander using Vensim PLE software, which is capable of reproducing the complex urban dynamics and from which it is possible to analyse the economic profitability and in terms of quality of life of investment in the conservation and regeneration of ecosystems and the use of green and blue infrastructure in urban environments.

The methodology followed to achieve the set objectives begins with an analysis of the study area, in which the different land uses and areas of special environmental and ecosystemic importance have been identified, as well as the main demographic and

socioeconomic characteristics and the main threats to the ecosystems in the area. In addition, indicators of the quality of life of the inhabitants of Santander have been identified, so that they can be considered in the economic model.

The development of the economic model in Vensim has required the identification of the set of variables of interest for the analysis to be carried out, the imposition of relationships between the different variables and the calibration of the model on the basis of the data available on the area of study, with the aim of obtaining a model whose results differ from reality as little as possible. As a complement to the calibration process, it has been considered necessary to carry out a sensitivity analysis of the variables considered critical or of greater importance in the system, which makes it possible to observe which variables are more sensitive to variations in these parameters.

In order to analyse investment in green and blue infrastructure and in ecosystem conservation and restoration work, it is considered of interest to simulate three scenarios that differ in the existence of a percentage of GDP allocated to the aforementioned transformation of ecosystems and urban infrastructure and, finally, in the implementation of environmental and socio-economic policies. In this way, based on the results obtained for each of the simulations, a comparative analysis process has been carried out between the different scenarios. Finally, the economic profitability analysis is addressed, based on the values acquired by the economic indicators of the model in the different scenarios.

The fundamental conclusions of the project are, firstly, the feasibility of carrying out a economic model of a city such as Santander and, in turn, the limitations that arise in terms of the quality and quantity of information and the existence of data that allow an optimal definition of the behaviour of the variables and their interrelationships. With regard to the profitability of the investment analysed, it is concluded that, under the assumptions considered, investment in green infrastructure and ecosystem regeneration is economically, environmentally and socially profitable, as well as in terms of quality of life.

Índice

1	Introducción.....	1
1.1	Problemática: la pérdida de biodiversidad y rentabilidad económica de la implementación de infraestructura verde y de la restauración de ecosistemas.	1
1.1.1	Problemática desde una perspectiva regional.....	7
1.2	Objetivos: primarios y secundarios.....	10
1.2.1	Modelado de la ciudad de Santander.....	11
1.2.2	Implementación de infraestructura verde y políticas de regeneración de ecosistemas.....	12
2	Estado del arte	20
2.1	Aplicación del modelado para analizar la idoneidad de soluciones de ingeniería	20
2.2	La ciudad como <i>ecosistema urbano sostenible</i>	21
2.2.1	Ciudad y población.....	23
2.2.2	Servicios ecosistémicos	24
2.2.3	Infraestructura Verde (<i>Green Infrastructure</i>) e Infraestructura Azul (<i>Blue Infrastructure</i>).....	27
2.3	Caso de estudio	30
2.3.1	La ciudad: Santander	30
2.3.2	Inventario de ecosistemas y servicios ecosistémicos de Santander.....	32
2.4	Situación actual.....	42
2.4.1	Ámbito socioeconómico.....	42
2.4.2	Principales amenazas y debilidades del área de estudio	46
2.4.3	Indicadores de Calidad de Vida.....	47
2.5	Metodología.....	54
2.5.1	Modelado en Vensim.....	54
2.5.2	Calibración de parámetros	64
3	Análisis de resultados	75
3.1	Casos de estudio.....	75
3.1.1	Caso primero: Inversión 0	75
3.1.2	Caso segundo: Inversión positiva.....	84
3.1.3	Caso tercero: implementación de políticas.....	91
3.2	Análisis de sensibilidad del modelo.....	99
3.3	Análisis rentabilidad de la inversión.....	103



4	Conclusiones.....	105
5	Anexos.....	110
6	Referencias	148

1 Introducción

1.1 Problemática: la pérdida de biodiversidad y rentabilidad económica de la implementación de infraestructura verde y de la restauración de ecosistemas.

En los últimos 50 años, la humanidad ha experimentado grandes avances tecnológicos y crecimiento económico sin precedentes, elevando considerablemente el nivel de vida de las personas (OECD, 2019). Sin embargo, la creciente demanda de energía, alimento, materiales, agua y usos del suelo ha supuesto un enorme coste a los sistemas planetarios (Steffen, et al., 2015). La escala de producción y consumo, junto con las ineficiencias sistémicas, la mala gestión de recursos y residuos han dado lugar a la pérdida de la diversidad biológica. Las consecuencias para la salud y el bienestar humanos, para la capacidad de recuperación de la sociedad y el desarrollo sostenible son considerables e incluso, potencialmente catastróficas (OECD, 2019). Según la Encuesta de Percepción de Riesgos Globales del *World Economic Forum*, en el año 2020, cinco de los diez riesgos con mayor probabilidad de ocurrencia a los que se enfrenta la sociedad en la actualidad, pertenecen a la categoría medioambiental: el clima extremo, el fracaso de la acción climática, los desastres naturales, la pérdida de biodiversidad y los desastres medioambientales de causas antrópicas (World Economic Forum, 2020).

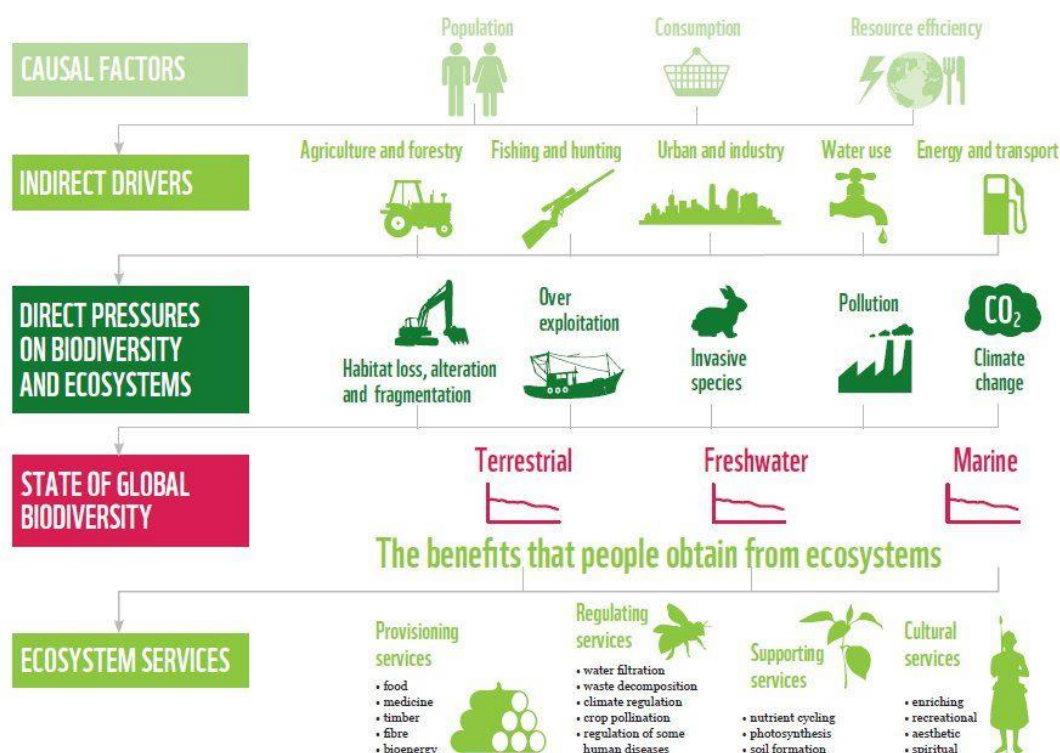
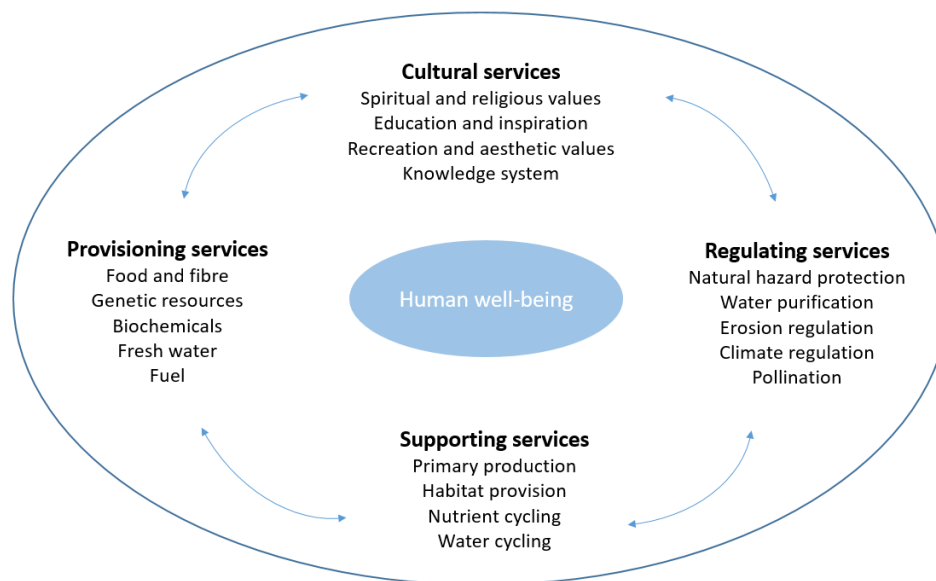


Ilustración 1. Esquema representativo de las causas, actores y presiones que afectan al estado global de la biodiversidad y a la producción de servicios ecosistémicos.

Fuente: agri.vi.com, 2021.

La sociedad humana se sustenta sobre los beneficios y recursos que aporta la naturaleza y su biodiversidad: alimentos, materiales, agua limpia, aire puro, regulación climática, prevención frente a inundaciones, polinización y lugares de recreo (Comisión Europea, 2013). Estos recursos, denominados *servicios ecosistémicos*, constituyen nuestro capital natural. La pérdida y deterioro de la biodiversidad de los ecosistemas supone un peligro para la obtención de esos servicios y, consecuentemente, una amenaza para las especies y su hábitat, para la riqueza y el empleo que nos proporciona la naturaleza, y en último lugar, aunque no menos importante, para nuestra calidad de vida.



*Ilustración 2. Tipos y ejemplos de servicios ecosistémicos.
Fuente: (OECD, 2019).*

Durante la historia de la humanidad, los servicios ecosistémicos se han venido usando como productos ilimitados. Desde el ámbito de la ingeniería, la construcción de “infraestructura gris” como sustituta de soluciones naturales ante determinadas problemáticas, ha sido la medida mayormente implementada. De este modo, el capital natural de nuestras ciudades se ha ido degradando, poniendo en un grave riesgo la sostenibilidad a largo plazo y la resiliencia frente a las crecientes presiones medioambientales.

Las proyecciones de las tendencias actuales sugieren que, para el año 2050, la superficie terrestre libre del impacto de las actividades antrópicas se habrá reducido a la décima parte del planeta (WWF, 2018). El excesivo crecimiento de la población en las ciudades provoca que, en muchas ocasiones, los ecosistemas no sean capaces de abastecer a la población de suficientes servicios ecosistémicos y, por tanto, sean sustituidos por otros menos sostenibles o aparezcan problemáticas derivadas de la carencia de recursos.

La pérdida de biodiversidad es, junto con el cambio climático, la mayor amenaza medioambiental a la que debe hacer frente la sociedad actual, estando ambos íntimamente relacionados. La biodiversidad se enfrenta a un gran número de amenazas entre las que

se incluyen el cambio de los usos del suelo, la pérdida de hábitats y la fragmentación de ecosistemas, la sobreexplotación de los recursos naturales, la contaminación, la presencia de especies invasoras y el cambio climático (SCBD, 2014). El cambio climático tiene efectos negativos en la configuración de los ecosistemas, en la productividad y la generación de servicios ecosistémicos, con las consecuentes implicaciones económicas que esto conlleva (Lipton, et al., 2018). La multidimensionalidad y complejidad de la biodiversidad supone que no existe una unidad de medida que, por sí misma, pueda representar globalmente el estado de la biodiversidad. No obstante, pueden emplearse una serie de indicadores de biodiversidad relativos a especies, bosques, humedales y otros ecosistemas que apuntan hacia la disminución progresiva de la biodiversidad y a la degradación generalizada de los ecosistemas.

Si bien las tendencias son negativas, existen ejemplos de conservación eficaz y utilización sostenible de la diversidad biológica, que sirven como prueba de los progresos realizados y de los conocimientos e instrumentos de los que se dispone para hacer frente a la pérdida de biodiversidad (OECD, 2019).

La biodiversidad, y las funciones y servicios ecosistémicos sustentan directamente la consecución de la mayor parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, entre los que cabe citar los relativos al agua y saneamiento, la acción climática, la vida submarina y la vida de los ecosistemas terrestres. No obstante, la preservación de la naturaleza desempeña también un papel fundamental y compleja en los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el fin de la pobreza, el hambre, la salud y el bienestar y las ciudades y comunidades sostenibles (IPBES, 2019).

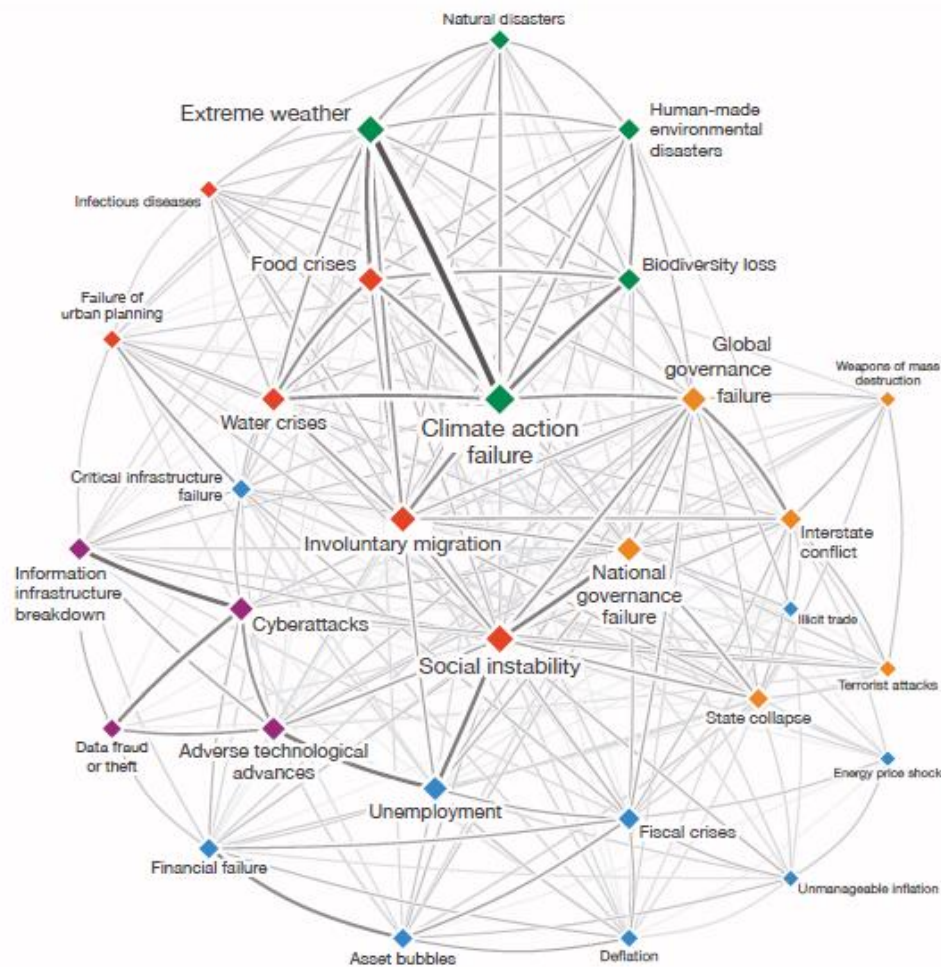


Ilustración 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible.
 Fuente: www.un.org/sustainabledevelopment/ (2015)

Según IPBES (2019), los objetivos para la conservación y uso sostenible de la naturaleza no podrán ser alcanzados con las tendencias actuales, y los Objetivos para el Desarrollo

Sostenible de la Agenda 2030 sólo podrán lograrse mediante la implementación de importantes cambios transformadores en los ámbitos económico, social, político y tecnológico. Además, se prevé que las tendencias negativas en cuanto a la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas seguirán empeorando en escenarios futuros, como respuesta a actores directos e indirectos, como el rápido crecimiento de la población humana, la producción y consumo insostenibles y el desarrollo tecnológico asociado. En contraposición, los escenarios que estudian los efectos de poblaciones con menor ratio de crecimiento, en combinación con cambios en los sistemas de producción y consumo sostenibles de energía, alimentos, materiales y agua, así como el reparto equitativo de los beneficios derivados del uso y adaptación climática respetuosos con la naturaleza, se presentan como alternativas más favorables para el logro de los objetivos sociales y medioambientales futuros.

En el ámbito macroeconómico, según indica el Informe Planeta Vivo (WWF, 2018), entre los sectores empresarial y financiero se plantea la cuestión de cómo los riesgos ambientales globales (presión sobre las tierras agrícolas, degradación del suelo, el estrés hídrico, los eventos climáticos extremos, etc.) afectarán al rendimiento económico de los países, sectores y mercados, puesto que toda actividad económica es dependiente, en última instancia, de los servicios suministrados por la naturaleza. El conjunto de los recursos naturales que proveen los servicios ecosistémicos es un componente de inconmensurable valor para la riqueza de un país, y un factor determinante de su nivel de prosperidad económica.



*Ilustración 4. Mapa de las interrelaciones entre los riesgos globales 2020.
 Fuente: (World Economic Forum, 2020)*

La protección de la biodiversidad está totalmente justificada desde el punto de vista económico (COM, 2020). Más de la mitad del PIB mundial depende de la naturaleza y de los servicios que proporciona, y tres de los sectores económicos más importantes, como son la construcción, la agricultura y la alimentación, son fuertemente dependientes de ella (Foro Económico Mundial, 2020).

Una ciudad sólo puede ser resiliente si en ella se proporciona a la naturaleza el espacio que esta necesita. Según el IPBES (2019), un incremento del uso de infraestructura verde y otras aproximaciones basadas en los ecosistemas suponen un avance en el desarrollo de la sostenibilidad urbana, al tiempo que sirven para reforzar la mitigación y adaptación climática. Las zonas urbanas clave para la biodiversidad deberían ser preservadas. Estas soluciones pueden incluir la retroalimentación entre infraestructura verde y azul, como la creación y mantenimiento de espacios verdes y masas de agua que favorezcan la biodiversidad, la agricultura urbana, cubiertas verdes y una cobertura vegetal amplia y accesible en las zonas urbanas y periurbanas existentes. La infraestructura verde en las zonas urbanas y periurbanas puede ser una solución que complemente a la tradicional infraestructura gris en funciones como la protección contra inundaciones, la regulación

de la temperatura, la purificación del aire y el agua, el tratamiento de aguas pluviales y residuales y la provisión de energía, el suministro de alimentos y materiales de origen local y la generación de múltiples beneficios para la salud que conlleva la interacción con la naturaleza.



*Ilustración 5. Funciones de la naturaleza en las ciudades.
 Fuente: (WWF, 2018)*

La consecución de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible en ciudades y la creación de ciudades resilientes al cambio climático requiere soluciones relacionadas con los ámbitos social, económico y ecológico. Una planificación integrada a nivel ciudad y de paisaje, las soluciones basadas en la naturaleza y la infraestructura construida, así como la producción y el consumo responsables pueden contribuir a que las ciudades sean sostenibles y equitativas, al mismo tiempo que contribuyen a la adaptación y mitigación del cambio climático (IPBES, 2019).

En el Acuerdo sobre el Cambio Climático aprobado en la Cumbre de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de París de 2015, se pone de manifiesto la contribución a la acción global en materia de cambio climático que debe realizarse a escala regional y municipal.

El Marco de Políticas de Energía y Cambio Climático 2021-2030 plantea los siguientes objetivos (Comisión Europea, 2014):

- La reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en un 40%, respecto a los niveles de 1990.
- Incrementar la implementación de energías renovables hasta una cuota del 27% del total del consumo energético.
- Aumento de la eficiencia energética, consiguiendo hasta el 27% de ahorro respecto el escenario tendencial.

1.1.1 Problemática desde una perspectiva regional

El Gobierno de Cantabria elaboró la Estrategia de Acción frente al Cambio Climático en Cantabria 2017-2030, con más de cien medidas concretas de mitigación y adaptación para luchar contra los efectos del cambio climático incentivando, entre otros objetivos, la transformación del modelo de vida hacia una economía baja en carbono (Gobierno de Cantabria, 2017).

En la región de Cantabria, los sectores económicos dependientes de forma directa de los efectos del cambio climático son numerosos: la agricultura, silvicultura, turismo de playa y nieve, y la pesca son algunos de ellos. Por otro lado, algunos servicios públicos como la distribución de energía o agua también sufren los efectos de las condiciones climáticas (Gobierno de Cantabria, 2017).

Las consecuencias del cambio climático en Cantabria, según el Avance del PROT en su capítulo “Cambio Climático”, (Gobierno de Cantabria, 2017) según sean relativas al medio físico y natural o al componente socioeconómico, son las que se exponen a continuación:

I. Medio físico y natural

En primer lugar, destaca el incremento del riesgo de incendios forestales, para cuya mitigación, son necesarias actuaciones de reducción de la vulnerabilidad de las masas forestales entre las que se encuentran el desarrollo de repoblaciones forestales mixtas usando especies autóctonas y sin masas homogéneas de conífera y desarrollo de medidas de protección del suelo mediante el mantenimiento de la vegetación natural y la inversión en infraestructuras verdes, etc.

Los incendios suponen, además, la reducción de la protección frente a la erosión por impacto de lluvias y escorrentía superficial, que conlleva un mayor aporte de sedimentos y nutrientes a los cauces y la pérdida de resiliencia de los ecosistemas afectados. El aumento de la materia orgánica e inorgánica en ríos, que depositan su carga en estuarios, supone un impacto negativo e implica un elevado coste económico en zonas portuarias por la necesidad de realizar dragados y actuaciones de mejora de la calidad de las aguas.

Por otro lado, los impactos de la actividad humana que favorecen la eliminación de las cubiertas vegetales incrementan el riesgo de deslizamientos, desplomes, etc. en el terreno.

Por su parte, el incremento del nivel medio del mar provocará retrocesos, debido a la erosión costera, del orden de decenas de metros en las playas cántabras, especialmente en los arenales vinculados a estuarios y puntales. Esto conlleva a la pérdida de espacios protegidos, mayor riesgo de inundación en zonas litorales y, en última instancia, a la afección del sector turístico, causada por la pérdida de los servicios que ofrecen las playas en cuanto a actividades recreativas y de ocio.

El incremento del nivel medio del mar y el mayor riesgo de inundación asociado debido al aumento de la frecuencia con que se producen eventos climáticos extremos son causantes de pérdidas de hábitat natural en determinadas zonas protegidas como pueden ser los sistemas dunares o ecosistemas de ribera.



*Ilustración 6. Inundación en la playa de El Sardinero.
Fuente: Avance del PROT, 2017.*

Los efectos negativos del cambio climático supondrán, en cuanto a la degradación de ecosistemas y de biodiversidad de Cantabria, importantes cambios relacionados con la fenología de la vegetación, la proliferación de especies alóctonas e invasoras, la mayor afección de plagas y enfermedades, la disminución de la productividad vegetal, eficiencia del reclutamiento en flora y fauna, y el desarrollo de migraciones de especies, así como, cambios en los regímenes hidrológicos que afecten a las cadenas tróficas y tasas metabólicas de sistemas terrestres y acuáticos (Gobierno de Cantabria, 2017).

II. Medio socioeconómico

En el ámbito socioeconómico, los efectos del cambio climático son especialmente acusados en algunos sectores, como pueden ser la agricultura y la ganadería. El incremento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones, entre otros efectos, pueden llegar a generar estrés hídrico en la producción de las cosechas, y la proliferación de enfermedades y plagas de especies alóctonas en los cultivos. Dos de las principales amenazas a las que se enfrenta la agricultura en la zona litoral son la subida del nivel medio del mar y la intrusión salina en ríos o acuíferos. La ganadería extensiva, por su parte, se verá afectada en cuanto a la producción de pastos y la calidad de los forrajes.

En el sector energético, las variaciones en los regímenes pluviométricos e hidrológicos afectarán al funcionamiento de las centrales hidroeléctricas. Algunas zonas industrializadas que se ubican en terrazas aluviales, estuarios o zonas costeras también pueden verse afectadas por las inundaciones permanentes debidas a la subida del nivel del mar, así como de la mayor probabilidad de que se produzcan eventos extremos.

Los puertos constituyen infraestructuras críticas a causa del incremento del nivel medio del mar y sus efectos, especialmente, en cuanto a las condiciones de operatividad y

estabilidad. El aeropuerto de Santander, además, podría sufrir inundaciones debidas a los eventos climáticos extremos, por su proximidad a la Bahía.



*Ilustración 7. Aeropuerto Seve Ballesteros-Santander junto a la Bahía.
Fuente: m.europapress.es, 2019.*

Por último, el sector de la población constituye uno de los sistemas más afectados por los efectos del cambio climático. El incremento de las temperaturas puede provocar enfermedades, problemas cardiovasculares y respiratorios e, incluso, la muerte. Por otro lado, la alteración del régimen de precipitaciones puede influir en la calidad del agua de consumo humano, con los riesgos que esto conlleva para la salud. Los eventos climatológicos extremos como temporales pueden, además, afectar a la seguridad de las personas.

Por todo ello, es esencial establecer medidas para la protección de los ecosistemas, de las zonas naturales, superficies agrícolas, forestales, etc. e incrementar su funcionamiento como sumideros de carbono (Gobierno de Cantabria, 2017).

En estas medidas, se incluye fomentar la inversión en infraestructura verde, herramienta de eficacia probada, que proporciona múltiples servicios ecosistémicos, desempeña una importante labor en la protección de la biodiversidad de asentamientos rurales y urbanos y aumenta la resiliencia de las ciudades frente a los eventos extremos.

1.2 Objetivos: primarios y secundarios

El presente Trabajo Fin de Máster se centra en dos objetivos primarios fundamentales, que se citan a continuación:

- El primer objetivo de este proyecto es la realización de un modelado económico mediante el software Vensim PLE, de la ciudad de Santander (España). Mediante la Dinámica de Sistemas se pretende desarrollar un modelo de la ciudad de Santander capaz de reproducir con suficiente precisión las complejas dinámicas urbanas, permitiendo una mayor comprensión del sistema y de las interacciones entre las múltiples variables involucradas en estas. A partir de este modelo, se induce a la reflexión en cuanto a la necesidad de unas determinadas actuaciones y políticas de gestión medioambiental.
- En segundo lugar, es objeto del trabajo la realización de un análisis de la rentabilidad, económica y en términos de calidad de vida, de la inversión en infraestructura verde y en la restauración de ecosistemas, como vía para la regeneración y mantenimiento de los ecosistemas urbanos. Para este fin, se empleará como base el modelo de la ciudad desarrollado en el primer punto para, mediante la incorporación o modificación de las variables del sistema, poder reproducir los impactos negativos causados por la actividad humana, así como las medidas de regeneración de ecosistemas y de la implementación de la infraestructura verde. La cuantificación de las variables del modelo es la clave que permitirá realizar una valoración económica de la rentabilidad de la transformación de la ciudad de Santander en una ciudad más sostenible y resiliente, no solo en términos monetarios, si no en términos de mejora de la calidad de vida de su población.

Cada uno de estos objetivos primarios se compone de una serie de objetivos secundarios que, en su conjunto, llevan a la consecución de los objetivos principales.

En cuanto al primer objetivo del proyecto, la realización de un modelo de dinámica de sistemas de la ciudad de Santander mediante el software Vensim, se han identificado los siguientes objetivos secundarios:

- Identificación de las variables intervinientes en el sistema.
- Identificación, documentación y establecimiento de las relaciones de causalidad y bucles de retroalimentación entre las diversas variables que componen el modelo.
- Búsqueda y tratamiento de los datos para establecer relaciones justificadas entre las diversas variables.
- Establecer unos indicadores económicos y de calidad de vida.
- Realización de un análisis de sensibilidad y calibración de los parámetros del modelo.

Respecto al segundo objetivo primario, la realización de un análisis de la rentabilidad económica y en términos de calidad de vida de la inversión en infraestructura verde y restauración de ecosistemas, se han identificado los objetivos secundarios que se mencionan a continuación:



- Incorporación de nuevas variables al sistema y variación de los valores de las ya existentes con la finalidad de simular los efectos de la inversión en infraestructura verde y de la regeneración de ecosistemas.
- Cuantificación de los efectos de la introducción en el sistema de la infraestructura verde y de la regeneración de los ecosistemas, y del aprovechamiento de los servicios ecosistémicos.
- Análisis de la repercusión en el sistema de la implementación de un conjunto de políticas medioambientales y socioeconómicas.

1.2.1 Modelado de la ciudad de Santander

El modelo económico de la ciudad objeto de estudio consta de diversas variables, entre las que pueden establecerse relaciones jerárquicas y de interdependencia. En la realización del modelo económico se parte de una situación base cuyo objetivo fundamental consiste en la identificación de indicadores económicos apropiados y que se ajusten a la realidad con la mayor precisión posible. Para ello, es necesario caracterizar las variables antes mencionadas, así como otras variables secundarias.

En primer lugar, el modelo económico de una ciudad se fundamenta sobre la población de la misma, en sus dinámicas demográficas y en el concepto de calidad de vida de los habitantes, proporcionada por la red de infraestructuras existentes. Los conceptos de “ciudad” y “población” están íntimamente relacionados de forma cíclica. A mayor calidad de vida, mayor población, y viceversa.

La *calidad de vida*, a su vez, es un concepto cuantificable en función de la capacidad de los ecosistemas presentes en la ciudad, de proporcionar servicios ecosistémicos a la población. Ecosistemas bien conservados proporcionan más servicios ecosistémicos y de mejor calidad, y consecuentemente, la calidad de vida se incrementa, y con ello, la población crece.

Con el crecimiento demográfico de la ciudad, surgen nuevas necesidades de espacio, y de un mayor número de infraestructuras. En este punto, nos encontramos con una de las problemáticas actuales en las ciudades, el excesivo crecimiento demográfico. La sobrepoblación de las ciudades, y todas las actuaciones y actividades que conlleva, afectan a los ecosistemas de múltiples formas. La contaminación, impermeabilización de las áreas urbanas, y la sobreexplotación de los recursos ecosistémicos, entre otros factores, son la causa de la pérdida de los ecosistemas existentes, y de la no garantía de servicios ecosistémicos para toda la población, creando situaciones de escasez, desigualdades, y de declive de la calidad de vida en las ciudades.

Es imprescindible para el modelo la selección de los ecosistemas principales presentes en la ciudad, como son las playas, ríos, parques, etc. Cada uno de estos ecosistemas se ve afectado por un conjunto de impactos derivados de la actividad humana, por el cambio climático u otros factores. De este modo, las playas sufren las consecuencias de los procesos erosivos, y la consecuente pérdida de biodiversidad en los fondos marinos; los ríos sufren principalmente vertidos contaminantes que afectan a la calidad de las aguas, pero también sufren las consecuencias de la canalización de estos, en forma de

inundaciones incontroladas y la pérdida de los ecosistemas de ribera; los parques y zonas verdes, pese a que, a priori no sufren variaciones, se ven cada vez más relegados a zonas aisladas, en forma de parches, de forma que la concepción de las zonas verdes en las ciudades como un ecosistema continuo capaz de proporcionar servicios ecosistémicos es prácticamente utópica.

Para cada uno de los ecosistemas seleccionados, se procede a cuantificar económicamente los servicios ecosistémicos que proporcionan, obteniendo un indicador económico de la rentabilidad de su conservación.

1.2.2 Implementación de infraestructura verde y políticas de regeneración de ecosistemas

1.2.2.1 Desarrollo de la infraestructura verde

La infraestructura verde es una herramienta de eficacia probada que aporta beneficios ecológicos, económicos y sociales mediante soluciones naturales (Comisión Europea, 2013). La infraestructura verde puede implementarse en múltiples y diversos lugares, cubriendo tanto áreas naturales y semi-naturales en zonas urbanas, rurales y marinas, como en elementos como tejados verdes y ecoductos, o pasos de fauna sobre autopistas. También se incluyen dentro de la infraestructura verde las áreas restauradas como humedales, estuarios, etc. (European Comission, 2012). Algunas de las principales funciones de la infraestructura verde son:

- La protección del estado de los ecosistemas y la biodiversidad.
- Mejora del funcionamiento de los ecosistemas y promoción de los servicios ecosistémicos.
- Promover el bienestar y la salud de la sociedad.
- Apoyo al desarrollo de una economía ecológica y a la gestión sostenible de la tierra y el agua.

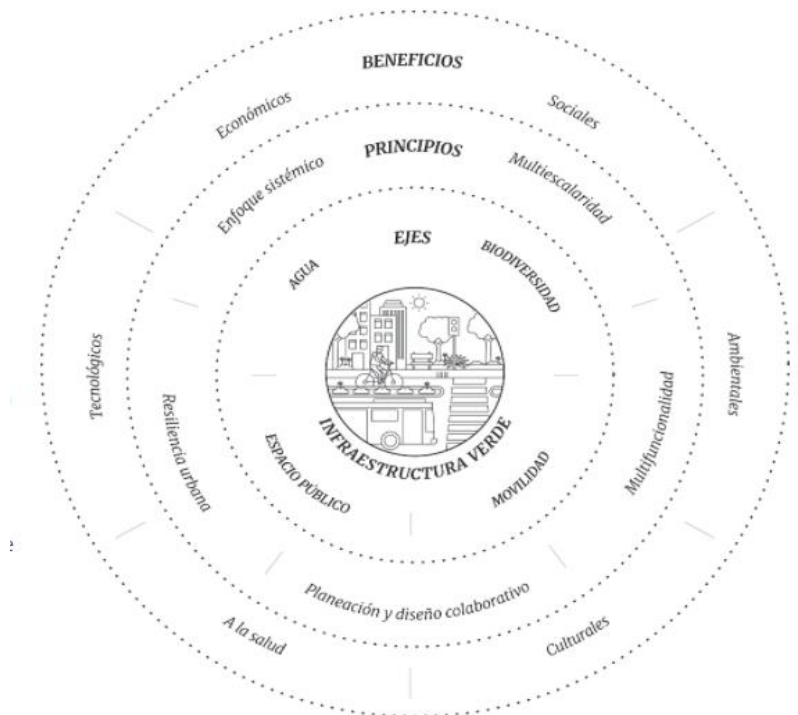


Ilustración 8. Funciones de la Infraestructura Verde Urbana.
 Fuente: infraestructuraverdeyciudades.com, 2020.

Las funciones de la infraestructura verde son altamente interdependientes entre sí, por ejemplo, el bienestar de los habitantes de una zona costera y fluvial es dependiente de la capacidad de los humedales o sistemas de drenaje natural de la zona para retener las inundaciones y estos, a su vez, dependen directamente de la prestación de servicios ecosistémicos como el suelo o la regulación del agua. Estos últimos dependen en gran medida del grado de biodiversidad para mantener la salud de los ecosistemas y su capacidad para proporcionar servicios.

La evaluación de las diversas variables y funciones intervinientes en la infraestructura verde es un proceso complejo ya que requiere la combinación de evaluaciones cualitativas o descriptivas con medidas cuantitativas, utilizando variables tanto ecológicas como sociales o económicas.

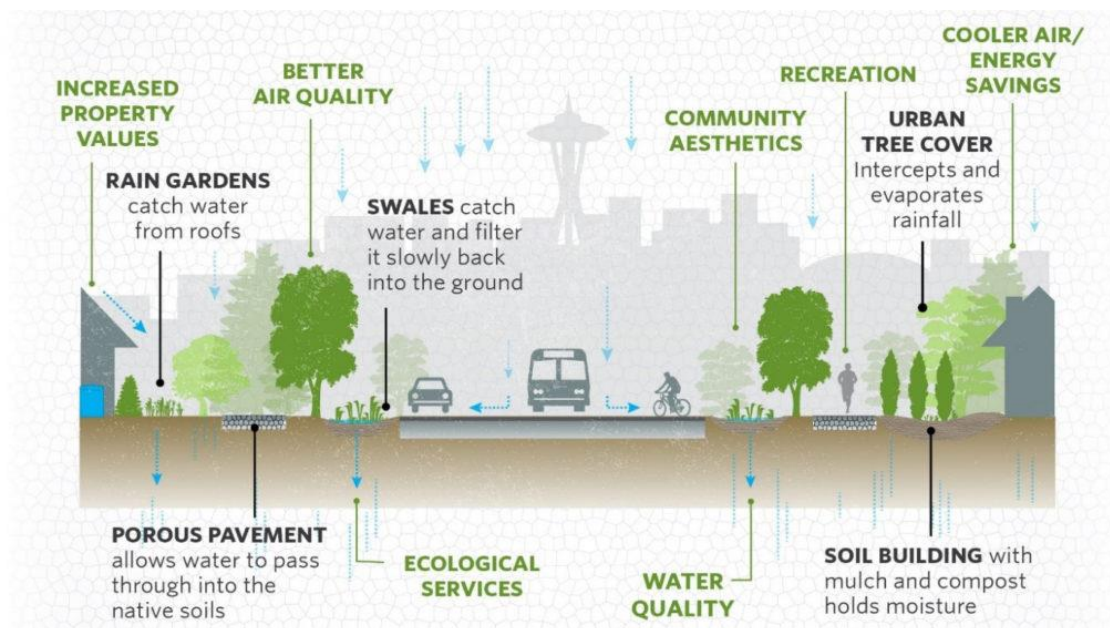


Ilustración 9. Elementos y funciones de la infraestructura verde en las ciudades.
Fuente: [researchgate.net](https://www.researchgate.net), 2021.

La infraestructura verde se basa en el principio de que la protección y valorización de la naturaleza y los procesos naturales, y los numerosos beneficios que la sociedad humana obtiene de la naturaleza, se integran de manera consciente en la planificación espacial y el desarrollo territorial. Frente a la infraestructura gris, de finalidad única, la infraestructura verde aporta múltiples beneficios. La comparación natural de la infraestructura verde con la tradicional infraestructura gris, correspondiente a la ingeniería civil convencional, nos permite observar que mientras esta última únicamente desempeña funciones únicas, la infraestructura verde proporciona soluciones al servicio de muchos problemas que suelen ser más baratas, robustas y más sostenibles económica y socialmente (Gobierno de España: Vicepresidencia Cuarta del Gobierno y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

La Comisión Europea (2013), define el concepto de infraestructura verde como: “una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales y de otros elementos ambientales, planificada de forma estratégica, diseñada y gestionada para la prestación de una extensa gama de servicios ecosistémicos. Incorpora espacios verdes (o azules en el caso de los ecosistemas acuáticos) y otros elementos físicos de espacios terrestres (incluidas las zonas costeras) y marinos.” En los espacios terrestres, la infraestructura verde está presente en los entornos rurales y urbanos. La inversión en infraestructura verde tiene también una lógica económica: optar por soluciones basadas en la naturaleza para, por ejemplo, mitigar los efectos negativos del cambio climático es más rentable que sustituir esos servicios perdidos por soluciones tecnológicas.



*Ilustración 10. Jardín vertical del Musée du Quai Branly.
Fuente: cienciaybiologia.com, 2021.*

El diseño y gestión de la infraestructura verde tienen como objetivo proporcionar el conjunto de servicios ecosistémicos y la protección de la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos. La infraestructura verde aprovecha positivamente la capacidad de la naturaleza para facilitar bienes y servicios de los ecosistemas a la sociedad.

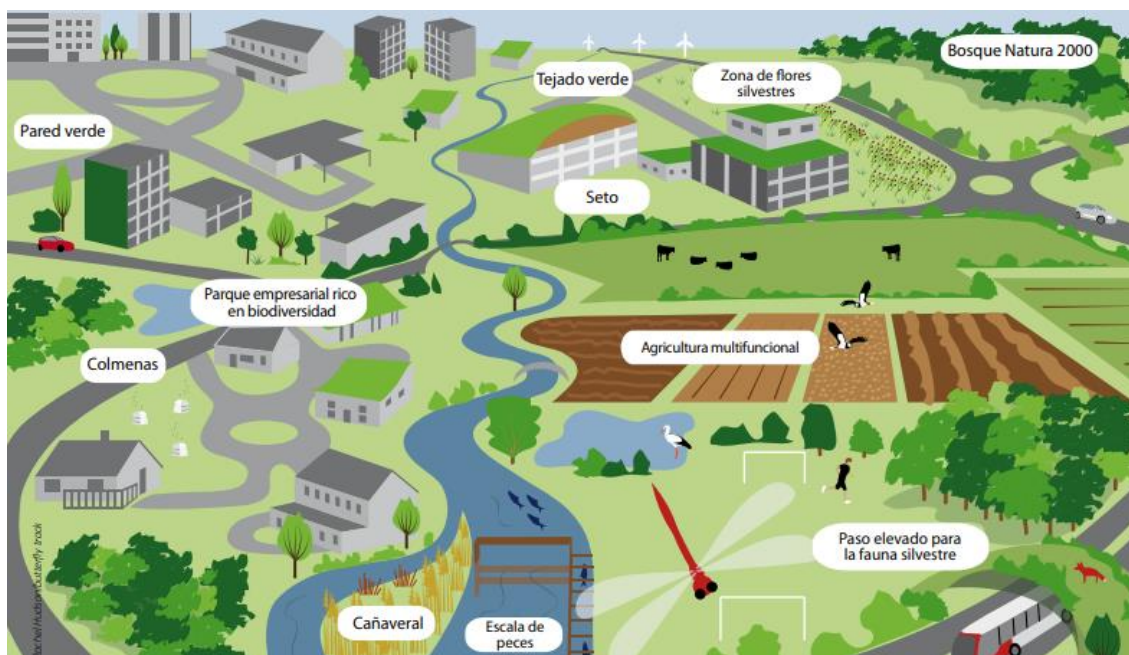


Ilustración 11. Elementos de la infraestructura verde en la ciudad.

Fuente: ec.europa.eu, (s.f.)

La infraestructura verde se compone de elementos que van desde la escala continental, como los grandes corredores transnacionales, hasta elementos de reducidas dimensiones, con un gran valor para la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos a escala local. Debido a su carácter multiescalar, considerando e integrando las múltiples conexiones e interacciones en el medio ambiente, la infraestructura verde se constituye como una eficaz herramienta de gestión.

La estrategia, en cuanto al diseño e implementación de la infraestructura verde, tiene que considerar las diferentes escalas espaciales, las interacciones entre ellas y la mejor forma de articular dicha implementación (Naumann, McKenna, Kaphengst, Pieterse, & Rayment, 2011). Según el Ministerio de Fomento (2019), en la Agenda Urbana Española, el concepto de infraestructura verde y su carácter multiescalar supone la inclusión del ámbito urbano y periurbano como un ámbito fundamental para el desarrollo de la misma. En los entornos urbanos, las soluciones de infraestructura verde suponen un gran reto debido a que es en las ciudades y sus alrededores donde vive más del 60 % de la población de la UE (Gobierno de España: Vicepresidencia Cuarta del Gobierno y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020) y donde la aportación múltiple de los servicios ecosistémicos es más necesaria (beneficios para la salud, para el fortalecimiento comunitario, beneficios físicos, psicológicos, emocionales, económicos y a grandes rasgos, la mejora de la calidad de vida urbana). Entre los diversos beneficios del desarrollo de la Infraestructura Verde Urbana (IVU) se encuentra, además de la conservación de la biodiversidad, la contribución a la permeabilización y a la corrección del efecto barrera, mitigando la desconexión que las ciudades y su predominante infraestructura gris asociada generan en los ecosistemas naturales periurbanos (Gobierno de España: Vicepresidencia Cuarta del Gobierno y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020). Además de estos efectos, cabe destacar la

función de la Infraestructura Verde Urbana como mecanismo de adaptación de las ciudades frente a los efectos del cambio climático.

A escala local, en el Avance del Plan Regional de Ordenación Territorial de Cantabria (Gobierno de Cantabria, 2017) se especifican los componentes de la infraestructura verde que deben ser considerados, como mínimo, en este nivel administrativo. Son los siguientes:

- I. Zonas de protección de avifauna que formen parte de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Cantabria.*
- II. Los sectores de Montes de Utilidad Pública.*
- III. Los espacios naturales protegidos que pudieran tener carácter exclusivamente local, por no encontrarse incluidos en la red general.*
- IV. Los entornos de protección de los Bienes de Interés Cultural.*
- V. Las zonas de protección del Plan de Ordenación del Litoral.*
- VI. Los sectores correspondientes de acuíferos y zonas de subsidencia.*

Los componentes de la infraestructura verde se agrupan, de forma particularmente, en dos ámbitos: el medio acuático y el medio terrestre.

Asociadas al medio acuático, encontramos:

- 1. Ríos, arroyos, regatos y torrentes, junto con los constituyentes de la red regional y las formaciones de ribera, de porte arbóreo, arborescente o arbustivo.*
- 2. Fuentes, manantiales, lagunas o charcas de persistencia en el tiempo, así como las comunidades vegetales circundantes, independientemente de su intermitencia.*
- 3. Criptohumedales en suelos de especial protección.*
- 4. Zonas de arenales interiores asociados a un medio acuático, que se incluyan en la infraestructura verde diseñada.*
- 5. Balsas, embalses, charcas o tremedales de pequeña superficie y abrevaderos-manantiales ubicados en el medio natural.*

Asociadas al medio terrestre:

- 1. Espacios forestales naturales.*
- 2. Áreas clasificadas como Suelo Rústico de especial protección, con vegetación constituida por matorrales, arbustos o árboles, con relación con la infraestructura verde regional.*
- 3. Bosques y zonas con vegetación natural estable, aisladas o que formen estructuras lineales, como setos o seves entre parcelas o en bordes de cauces de poca entidad.*
- 4. Espacios de huertas no intensivas o intensivas estables, siempre que los espacios de cierre perimetral sean permeables al tránsito de biota.*
- 5. Huertos, jardines, parque y espacios asimilables al medio urbano.*
- 6. Plantaciones forestales que se encuentran orladas con masas de arbolado o arbustadas naturales y que a su vez presentan zonas con presencia de biotopos naturales y zonas húmedas persistentes o con escorrentía ocasional, incluidas las plantaciones que se encuentran en su perímetro.*

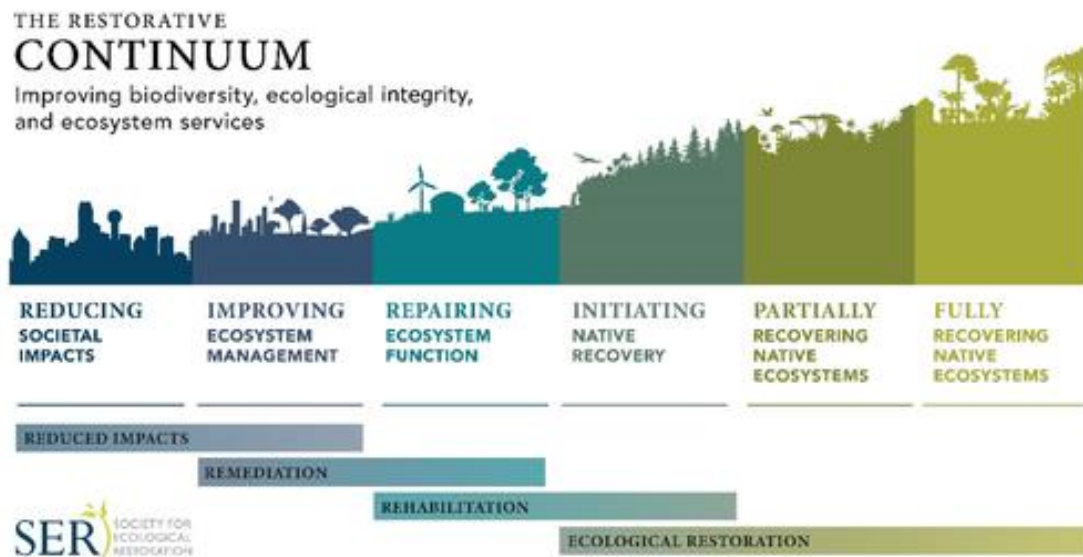


*Ilustración 12. Infraestructura verde en Rotterdam.
 Fuente: Marthe Derkzen (thenatureofcities.com), 2016.*

1.2.2.2 Restauración ecológica de ecosistemas

La transformación e intensificación de los usos de suelo ha contribuido a la desaparición y pérdida de funcionalidad de muchos de los conectores naturales y a la disminución de los servicios ecosistémicos. La implementación y mejora de la infraestructura verde supone priorizar en actuaciones en zonas que maximicen las funciones ecosistémicas y a su vez, la conectividad.

Según la Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group (2004), “la restauración ecológica es el proceso mediante el cual se promueve el restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido”. Los objetivos de la restauración ecológica deben englobar la optimización de la biodiversidad, de los procesos ecológicos y la generación de servicios ecosistémicos, considerando, además, el marco ecológico, socioeconómico y cultural. Por este motivo, la restauración ecológica debe plantearse como una integración de la intervención en el medio biofísico con la socioeconomía, particularmente, con la demanda de servicios ecosistémicos y culturales.



*Ilustración 13. El proceso continuo de la restauración de ecosistemas.
 Fuente: Society for Ecological Restoration, 2019.*

La restauración ecológica consiste en la recuperación de la estructura del ecosistema, de los procesos ecológicos y de la interacción entre estos, permitiendo que los ecosistemas mantengan o recuperen su capacidad para proporcionar bienes y servicios a la población. Esta restauración constituye una herramienta de planificación de las actividades humanas en el territorio y una oportunidad para promover la biodiversidad, la mejora del entorno y consecuentemente, de la calidad de vida.

Entre los múltiples beneficios que se pueden derivar de la restauración de los ecosistemas existentes, en el informe preparado por el OECD para la presidencia francesa del G7 y la reunión de ministros de medio ambiente del G7 en mayo de 2019 (OECD, 2019), señalan la protección frente a eventos meteorológicos extremos, la prevención de la erosión de las costas, el secuestro de carbono, la recuperación de hábitats, etc. Según este informe, los beneficios de la restauración de ecosistemas pueden superar con creces los costos que requiere, particularmente en el caso de la restauración de humedales, pastizales y bosques continentales y costeros. Los beneficios netos dependerían de los objetivos, el grado de degradación y el tipo y ubicación del ecosistema, además de los costos de oportunidad. Generalmente, se considera que la prevención de la degradación de un ecosistema es más rentable que restaurarlo.

La restauración de los ecosistemas impulsa nuevas oportunidades económicas y de negocio que contribuyen al crecimiento económico y a la generación de nuevos empleos vinculados al desarrollo y a la gestión sostenible de los recursos naturales.

2 Estado del arte

2.1 Aplicación del modelado para analizar la idoneidad de soluciones de ingeniería

La Dinámica de Sistemas, en inglés, *System Dynamics* (SD), introducida por Jay Forrester en la década de 1960, es una consolidada metodología de simulación de sistemas cuya finalidad es la comprensión, visualización y análisis de sistemas de retroalimentación dinámicos complejos (Zhao, Ren, & Rotter, 2011). La Dinámica de Sistemas permite analizar las relaciones causa-efecto entre los factores que participan en el sistema y, en función de la simulación computacional es posible analizar cuantitativamente la estructura del sistema de retroalimentación de información y la relación dinámica entre las funciones y el comportamiento del sistema (Feng, Chen, & Zhang, 2012). En un modelo de dinámica de sistemas es posible representar las fuerzas directoras del sistema, incorporar subsistemas individuales en un marco genérico y analizar sus interacciones, facilitando la comprensión holística del conjunto del sistema. Mediante estos procesos se ponen de manifiesto las políticas pertinentes en materia de sostenibilidad urbana (Yuan, Ji, Chen, & Chen, 2008). No obstante, el modelo requiere la generación externa de los datos necesarios para el funcionamiento del modelo de dinámica de sistemas (Feng, Chen, & Zhang, 2012).

La Dinámica de Sistemas ha sido empleada ampliamente en diversos campos entre los que destacan los sistemas socioeconómicos (Forrester, 1969), sistemas ecológicos (Saysel & Barlas, 2001), sistemas de transporte (Suryani, Chou, & Chen, 2010), gestión medioambiental y evaluación de políticas como la gestión de residuos sólidos (Dyson & Chang, 2005), gestión de recursos hídricos (Stave, 2003; Rehan, Knight, Haas, & Unger, 2011), mitigación de gases de efecto invernadero (Anand, Dahiya, Talyana, & Vratb, 2005), evaluación sostenible y planificación medioambiental (Guo, et al., 2001).

El software Vensim es un sistema de empleo generalizado en modelos de dinámica de sistemas para aplicaciones de simulación debido al carácter intuitivo de su interfaz para el usuario. Además, Vensim ofrece un modo flexible de visualizar y comunicar dinámicamente la complejidad del funcionamiento de los sistemas e ideas mediante la construcción de una gran variedad de modelos de simulación a partir de bucles causales o diagramas de flujos y saldos (System, 2006).

La definición de unas regulaciones de gestión medioambiental efectivas, así como la elaboración de unas políticas reguladoras en cuanto a la planificación medioambiental de las ciudades es un proceso complejo, en el cual es de vital importancia la comprensión de las interacciones entre un gran número de factores relacionados entre sí: sociales, económicos, medioambientales, de gestión, reguladores y de estilo de vida (Guan, Gao, Su, Li, & Hokao, 2011). La complejidad de las interacciones entre estos factores reside, no solo en que involucran simultáneamente varias variables del sistema, sino que, además, dichas variables presentan variaciones en el tiempo.

En la actualidad, la literatura que avala la aplicación de los modelos de dinámica de sistemas en el desarrollo urbano y en sistemas de gestión sostenible integrada es cada vez mayor. Algunos ejemplos de aplicación de dinámica de sistemas en ámbitos relacionados con los que pretende abordar este proyecto pueden ser el desarrollo de un modelo de



dinámica de sistemas mediante el Software Vensim de un sistema urbano “*economy-resource-environment*” (ERE) en combinación con un análisis mediante un sistema de información geográfica (GIS), de la ciudad de Chongqing en China (Guan, Gao, Su, Li, & Hokao, 2011). Güneralpa & Seto (2008) desarrollaron un modelo de simulación de interacción dinámica de los procesos sociales, económicos y medioambientales para identificar algunos de los beneficios medioambientales y retos de la urbanización. Zarghami & Akbariyeh (2012) modelaron el sistema hidráulico urbano de la ciudad de Tabriz mediante una aproximación de dinámica de sistemas. Por otro lado, Du, Li, Zhao, Ma, & Jiang (2018) desarrollaron un modelo de dinámica de sistemas de las emisiones urbanas de carbono de la ciudad de Shanghai.

2.2 La ciudad como *ecosistema urbano sostenible*

La idea de ciudad como organismo vivo no es un concepto nuevo. Según Geddes (1915), cada ciudad puede ser considerada como un organismo vivo que posee sus propias dinámicas complejas sujetas a diferentes fuerzas: económicas, sociales, políticas, culturales, etc.

La consideración de las ciudades como ecosistemas urbanos se basa en la definición de estos como cualquier ecosistema localizado en un área urbana, en su sentido estricto. Las ciudades son complejos sistemas y, el factor humano, su dominancia e impacto, ha provocado diversos cambios en el concepto de ecosistema en términos de clima, suelo, circulación de agua, especies que lo componen, dinámicas de población, energía y flujos de materiales, etc. dando lugar a fenómenos propios del ecosistema urbano.

De acuerdo con el sistema de ecología humana, puede considerarse que en el área urbana conviven factores abióticos (atmosféricos, temperatura, agua, minerales y residuos), bióticos (materiales, alimentos, energía y residuos), institucionales (leyes, economía, tecnología, política, etc.) y factores humanos (Lawrence, 2001). No obstante, la ciudad como ecosistema no opera en condiciones aisladas, sino que se comporta en base a procesos dinámicos y complejos.

Desde los primeros estudios sobre el sistema del “metabolismo urbano” se divide el proceso en dos estadios: “inputs” y “outputs”. Este sistema, con fuertes bases teóricas, es empleado, además de por expertos ambientalistas, por sociólogos y economistas, concretamente para la descripción empírica del metabolismo social en escala económica. Leontiev fue el primer economista en expresar su preocupación acerca del impacto de la actividad económica en la calidad medioambiental (Cepeliauskaite & Stasiskiene, 2020).

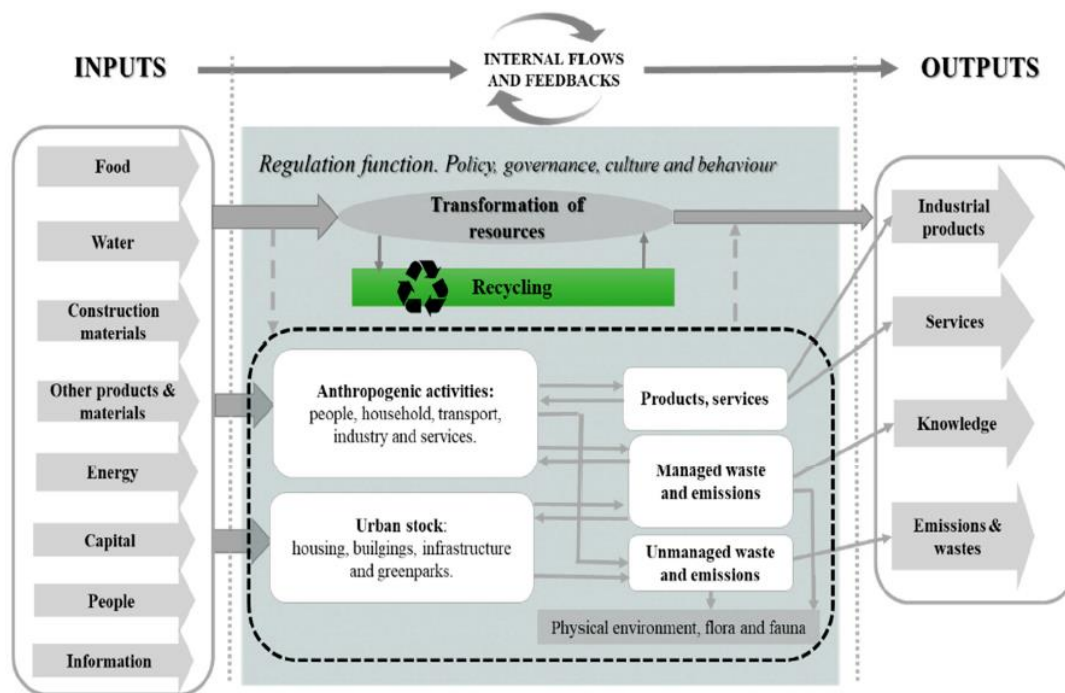


Ilustración 14. El sistema del metabolismo urbano.
Fuente: (Cepeliauskaite & Stasiskiene, 2020)

Puede observarse que la investigación reciente sobre el metabolismo urbano refleja los principios del sistema circular, transformando el concepto de metabolismo basado en un sistema lineal en uno circular, con el fin de reducir la producción de residuos, contaminación, ruido, etc. conformando un prototipo de ciudad sostenible.

Los principios de la sostenibilidad se fundamentan en la integración de aspectos medioambientales, sociales y económicos, comprendiendo que, el desarrollo sostenible no es un proceso estático, si no formado por varios sistemas (medioambiental, social y económico) que interactúan entre sí en una relación de interdependencia (Cepeliauskaite & Stasiskiene, 2020).

En este contexto, resulta pertinente citar los Diez Principios de Melbourne para las Ciudades Sostenibles, elaborados por la Comisión Brundtland, que define el desarrollo sostenible como “*un desarrollo que satisface las necesidades futuras del presente, sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades*”. Los Principios de Melbourne describen las ciudades como ecosistemas, considerándolas compuestos abiertos, multiplanares y heterogéneos de ecosistemas (Grove, 2009). Los Principios de Melbourne son:

1. Ofrecer una visión a largo plazo para las ciudades basada en la sostenibilidad; la igualdad intergeneracional, social, económica y política.
2. Alcanzar la seguridad económica y social a largo plazo.
3. Reconocer el valor intrínseco de la biodiversidad y de los ecosistemas naturales, protegerlos y restaurarlos.
4. Permitir a las comunidades reducir su huella ecológica.

5. Edificar sobre las características de los ecosistemas en el desarrollo y el fortalecimiento de ciudades sanas y sostenibles.
6. Reconocer y edificar sobre las distintivas características de las ciudades.
7. Dar poder a los ciudadanos y fomentar la participación.
8. Extender y permitir a los sistemas cooperativos trabajar hacia un futuro sostenible común.
9. Fomentar la producción y el consumo sostenibles por medio del uso adecuado de tecnologías ambientales sólidas.
10. Facilitar la continua mejora, basada en la responsabilidad, claridad y buena administración urbana.

La protección y el uso sostenible de los ecosistemas en las ciudades y en la periferia urbana son los componentes clave de un desarrollo sostenible global (Schewenius, McPhearson, & Elmqvist, 2014).

2.2.1 Ciudad y población

En la actualidad, más de la mitad de la población mundial vive en ciudades, y se prevé que esta cifra alcanzará el 60% para el año 2030 según las Naciones Unidas (United Nations, 2012). La tasa de crecimiento de la población mundial se ha incrementado hasta el punto de que las acciones de una mayoría de los habitantes que ocupan las ciudades afectan a la resiliencia de todo el planeta (Seto, Fragkias, Güneralp, & Reilly., 2011). La creciente tasa de crecimiento poblacional en áreas urbanas convierte las ciudades en centros de demanda de los denominados servicios ecosistémicos, así como fuentes generadoras de impacto medioambiental. Los procesos de urbanización y densificación de las ciudades han llevado a la pérdida de biodiversidad y de espacios verdes urbanos. En este aspecto, la excesiva impermeabilización del suelo en las ciudades es una de las causas de múltiples problemáticas como el incremento de las inundaciones o el denominado efecto “isla de calor”, que causa un aumento de la temperatura en los centros urbanos.

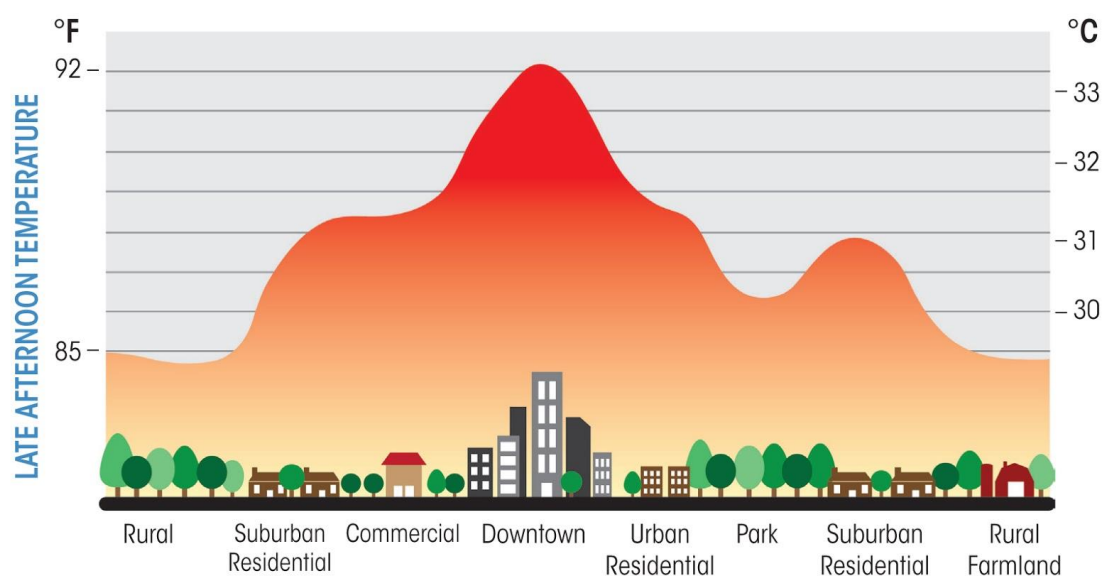


Ilustración 15. Efecto isla de calor urbana.

Fuente: 4.bp.blogspot.com, (s.f.)

Debido a la creciente demanda de infraestructuras por parte de las ciudades cada vez más pobladas, el sector de la construcción se encarga de abastecer de infraestructuras de tipo tradicional (la denominada “grey infrastructure”), que se constituye de carreteras, autopistas, instalaciones eléctricas, infraestructuras de transporte, y tratamiento de aguas pluviales y residuales. No obstante, el desarrollo de estas infraestructuras a gran escala, provocan un efecto de modificación del paisaje urbano, la pérdida de ecosistemas y la fragmentación de hábitats. Las infraestructuras tradicionales suponen una amenaza significativa a los ecosistemas urbanos y a la sostenibilidad (Cagno, Ambriggi, Grande, & Trucco, 2011).

Los recursos naturales, entre los que cabe citar el agua, alimentos, energía y tierras de cultivo fértiles son la base de subsistencia y prosperidad de las poblaciones y dependen, sin embargo, de las tasas de consumo humano (Giljum, et al., 2020). La deforestación, escasez de agua y el cambio climático son consecuencias directas del consumo incontrolado de los recursos naturales en el mundo actual.

En el campo urbanístico se presentan retos fundamentales para lograr alcanzar la resiliencia y el funcionamiento ecológico de los sistemas urbanos. En los ecosistemas urbanos, la infraestructura verde o infraestructura azul, podría llegar a desempeñar un papel crucial en la capacidad adaptativa de las ciudades para paliar los efectos del cambio climático.

2.2.2 Servicios ecosistémicos

Los *servicios ecosistémicos* hacen referencia a las funciones de los ecosistemas que son empleadas, disfrutadas o consumidas por los humanos, y que pueden ser desde el suministro de materiales como el agua, materias primas, etc. hasta servicios intangibles como la regulación climática, la purificación del agua, el control de la escorrentía urbana o la retención del carbono (Crossman, et al., 2013).

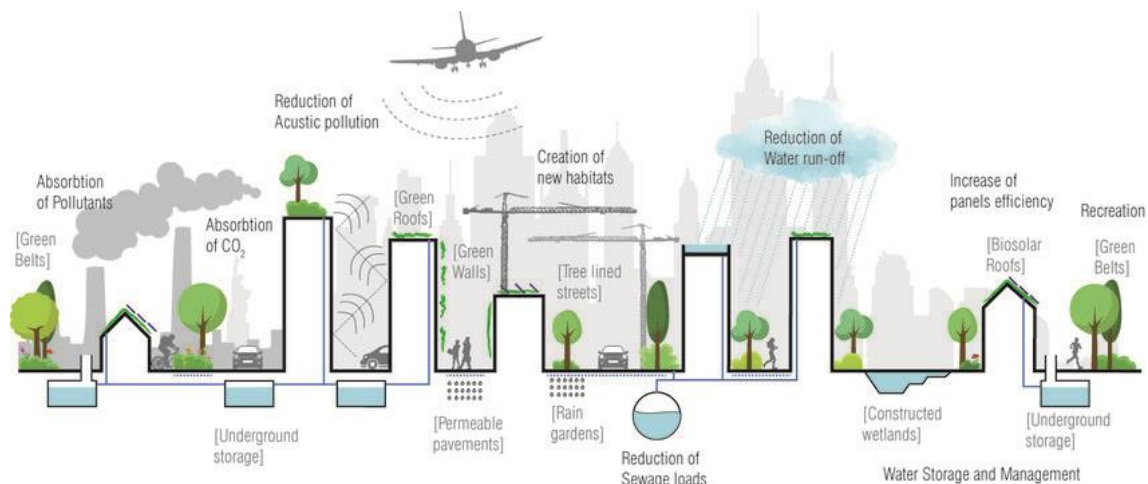


Ilustración 16. Servicios ecosistémicos proporcionados por la infraestructura verde.
Fuente: Chiara Catalano ([researchgate.net](https://www.researchgate.net)), 2017.

Los servicios ecosistémicos son generados en diversos hábitats, incluyendo espacios verdes, como parques, bosques urbanos, cementerios, terrenos vacíos, jardines y praderas,

vertederos, etc.; y espacios azules, como ríos, arroyos, lagos, estanques, cunetas artificiales, estanques de retención de agua de tormentas, etc.

La estructura jerárquica propuesta por la Clasificación Internacional de Servicios Ecosistémicos (CICES) (Haines-Young & Potschin, 2013) se ha diseñado de modo que las categorías de cada nivel no se superpongan o incurran en redundancias. Se recomienda la clasificación de los servicios ecosistémicos según la siguiente estructura:

1. **Servicios de abastecimiento:** contribuciones directas al bienestar humano provenientes de la estructura biótica y geótica de los ecosistemas. Principalmente se refieren a los servicios que se encargan del suministro de materiales y las fuentes de energía proporcionadas por los ecosistemas. Algunos ejemplos de servicios de abastecimiento son: agua dulce, alimento, madera, fibra, recursos genéticos, medicinas, etc.
2. **Servicios de regulación y mantenimiento:** todas las formas en que los organismos vivos pueden mediar o moderar el entorno ambiental y que afectan a las actividades y bienestar humano. Algunos ejemplos de servicios de regulación y mantenimiento son: regulación del clima, regulación hídrica o polinización.
3. **Servicios culturales:** incluyen todos los aspectos de los ecosistemas que afectan al estado físico y mental de las personas. Algunos ejemplos de servicios culturales son: el uso recreativo, valor paisajístico, etc.



*Ilustración 17. Abeja polinizadora.
 Fuente: Reuters, Wiegmann, (s.f.).*

Algunos ejemplos de servicios proporcionados por la existencia de infraestructura verde y azul en áreas urbanas son:

- **Regulación microclimática:** Los parques urbanos y la vegetación, incluyendo tejados o cubiertas verdes y jardines verticales, entre otros, reducen el efecto “isla de calor”. El incremento de la densidad de cobertura vegetal en las ciudades puede llegar a disminuir la temperatura ambiente en unos 3-4 °C (Gill S. , Handley, Ennos, & Pauleit, 2007), con el consecuente ahorro energético y económico en

aire acondicionado. El efecto regulador de la temperatura de la infraestructura verde en las áreas urbanas puede contribuir a la reducción del gasto en combustibles fósiles y, por tanto, colaborar a la disminución de las emisiones de dióxido de carbono contaminantes (Akbari, 2002).

- **Regulación hidrológica:** La intercepción del agua de lluvia por los árboles, u otros tipos de vegetación, e incluso por suelos permeables en áreas urbanas es también un factor fundamental en la reducción de la presión sobre el sistema de drenaje urbano, disminuyendo el riesgo de inundación. Los entornos urbanos con una superficie impermeabilizada de entre el 50 y el 90% pierden un porcentaje de agua de lluvia en forma de escorrentía del 40-83% mientras que las áreas con vegetación o permeables, solamente generan un 13% de escorrentía partiendo de un evento de precipitación similar (Pataki, et al., 2011) (Kaye, Groffamn, Grimm, Baker, & Pouyat, 2016).



Ilustración 18. Cuneta verde regulando la escorrentía superficial ocasionada por las precipitaciones pluviales
 Fuente: biocycle.net, 2012.

- **Reducción de la contaminación y efectos en la salud:** Está ampliamente demostrado que la vegetación urbana mejora la calidad del aire (Escobedo, Kroeger, & Wagner, 2011), aunque este efecto presenta variabilidad espacial y temporal en una ciudad y entre ciudades distintas. Además, se han identificado múltiples beneficios para la salud pública (Douglas, 2012). La accesibilidad de la población a espacios verdes se ha asociado con una reducción de la mortalidad (Mitchell & Popham, 2008) y con la mejora de la salud general de la población.

- **Conservación de hábitats:** Las áreas urbanas pueden albergar una gran diversidad de especies vegetales y animales distribuidas en un mosaico de hábitats único del ecosistema urbano. Este servicio resulta beneficioso, no solamente por el valor intrínseco de las especies, sino que también cumple un papel fundamental en la reducción de la pérdida de biodiversidad y la restauración de los ecosistemas degradados.
- **Servicios culturales:** Muchos servicios culturales están asociados con las infraestructuras verdes en los ecosistemas urbanos y existe evidencia de que la biodiversidad en las áreas urbanas desempeña un papel positivo en la mejora de la calidad de vida. Fuller, Irvine, Devine-Wright, Warren, & Gaston (2007) han demostrado que los beneficios psicológicos de los espacios verdes se incrementan con la biodiversidad, al mismo tiempo que provocan un aumento de la satisfacción y reducen el estrés.



*Ilustración 19. Huerto urbano en la azotea del Hotel Wellington, Madrid.
 Fuente: ponverdeatucubierta.es, 2015.*

La inversión en la restauración, protección e impulso de infraestructura verde y servicios ecosistémicos en ciudades es, no solo ecológica y socialmente deseable (Elmqvist, et al., 2015) si no que, frecuentemente es, además, económicamente viable, incluso bajo los predominantes modelos económicos actuales.

2.2.3 Infraestructura Verde (*Green Infrastructure*) e Infraestructura Azul (*Blue Infrastructure*)

La presencia de infraestructura verde en las ciudades genera una gran diversidad de servicios de ecosistemas. La inversión en infraestructura verde e infraestructura azul, así como la restauración de los ecosistemas urbanos constituyen una contribución tangible en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Economía Verde para el siglo XXI de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

Diversos estudios demuestran que una mayor inversión en infraestructura verde en paisajes urbanos puede ser una potencial fuente de beneficios tanto monetarios como no monetarios para la sociedad y el bienestar, contribuyendo al mantenimiento de la biodiversidad y el desarrollo de áreas urbanas más resilientes (Elmqvist, et al., 2015). Árboles urbanos, parques y jardines, humedales, cubiertas verdes, bosques, ríos y otros espacios naturales desempeñan un papel fundamental fomentando la generación de servicios ecosistémicos, mejorando el medioambiente urbano, en la mitigación del cambio climático, y en el mantenimiento del equilibrio ecológico (Jim & Chen, 2008).



*Ilustración 20. Cubierta verde del Ayuntamiento de Chicago (EEUU).
 Fuente: greenroofs.com, 2001.*

La infraestructura verde es considerada una alternativa esencial y eficiente para promover los ecosistemas y la calidad de vida en áreas urbanas (Tzoulas, et al., 2007). Múltiples beneficios de la infraestructura verde, junto con técnicas de planeamiento e ingeniería, han sido puestas en valor en múltiples estudios (Getter & Rowe, 2016), especialmente referidos a la implementación de cubiertas verdes, pavimentos permeables y espacios verdes “sumergidos”. Estudios sugieren que el incremento de las superficies verdes permite reducir la escorrentía superficial hasta en un 4,9%, mientras que un incremento de la cobertura vegetal arbórea podría alcanzar un 5,7% y con la implantación de cubiertas verdes, el 11,8-14,1% (Gill S. , Handley, Ennos, & Pauleit, 2007). Por otro lado, (Foster, Lowe, & Winkelman, 2011) los pavimentos permeables son capaces de reducir la escorrentía de agua de lluvia en un 70-90%, lo cual equivale al rendimiento de césped y humedales.

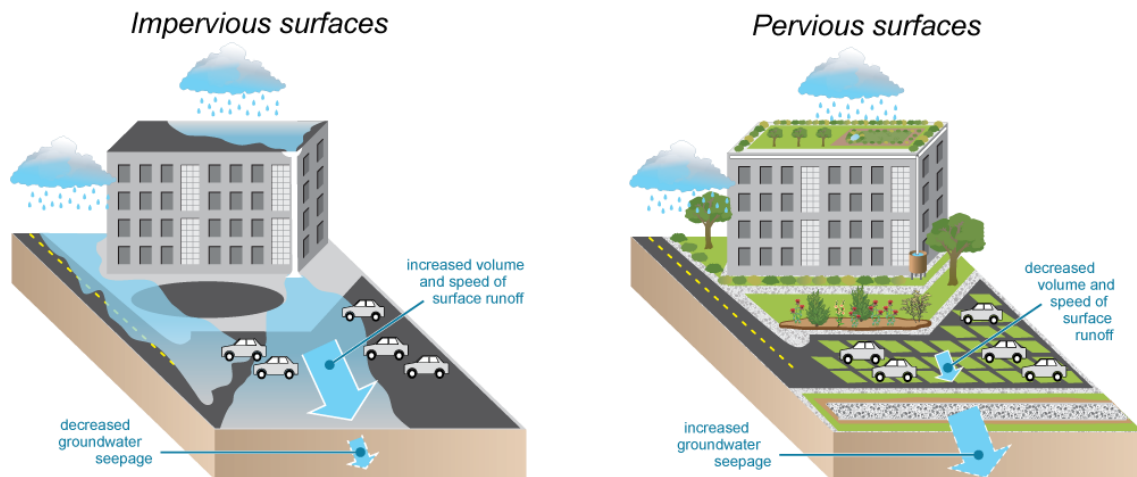


Ilustración 21. Diagrama conceptual explicativo del funcionamiento de las superficies impermeables y permeable, respectivamente.

Fuente: Chesapeake and Atlantic Coastal Bays Trust Fund (umces.edu), 2013.

Investigaciones han determinado que el coste de inversión de la infraestructura verde puede llegar a ser mucho menor que en la infraestructura gris y, además proporciona múltiples funciones y requiere de un menor mantenimiento (Li, Wang, & Zhao, 2014). No obstante, a pesar de que la infraestructura verde puede ser la solución a muchas de las carencias o problemáticas de la infraestructura tradicional, sólo se puede entender como una buena práctica para alcanzar la sostenibilidad urbana con garantías y seguridad si se emplea en simbiosis con la infraestructura tradicional o “gris” (Sijtsma, Sjerp de, Hinsberg, & Diederiks, 2012).

Las ciudades son complejos ecosistemas gobernados por actividades socioeconómicas y procesos naturales al mismo tiempo, por lo que los ecosistemas urbanos necesitan unas infraestructuras ecológicas integradas, efectivas, integrales y multifuncionales (Li, Wang, & Zhao, 2014; Wang, Li, Han, Huang, & Yin, 2014).

2.3 Caso de estudio

2.3.1 La ciudad: Santander

La ciudad de Santander es la capital de la región de Cantabria, situada en la costa norte de España, de coordenadas 43°28'00"N 3°48'00"O. El municipio de Santander alberga una población de 172.539 habitantes y cuenta con una extensión de 36,08 km² (ICANE, 2020).

La ciudad de Santander es el núcleo fundamental del municipio del mismo nombre, puesto que concentra el 87% de la población total del municipio (Ayto. de Santander, 2010).

Como área de estudio se ha considerado la superficie compuesta por el municipio de Santander, incluyendo, además, la Bahía de Santander y el fondo de esta, conformado por las fracciones de los municipios de Somo y Pedreña adyacentes a la bahía.



Ilustración 22. Área de estudio.
Fuente: mapas.cantabria, 2017.

En el **Anexo 1** puede verse el mapa de los usos del suelo del área de estudio según los datos del Corine Land Cover (2018), según el cual la superficie de estudio se destina a los siguientes usos, fundamentalmente:

Tabla 1. Usos del suelo.

USOS DEL SUELO	Superficie		% del área total
Superficie Artificial / Impermeabilizada	31,47	km ²	3,05
Superficie Agrícola	111,616	km ²	10,80

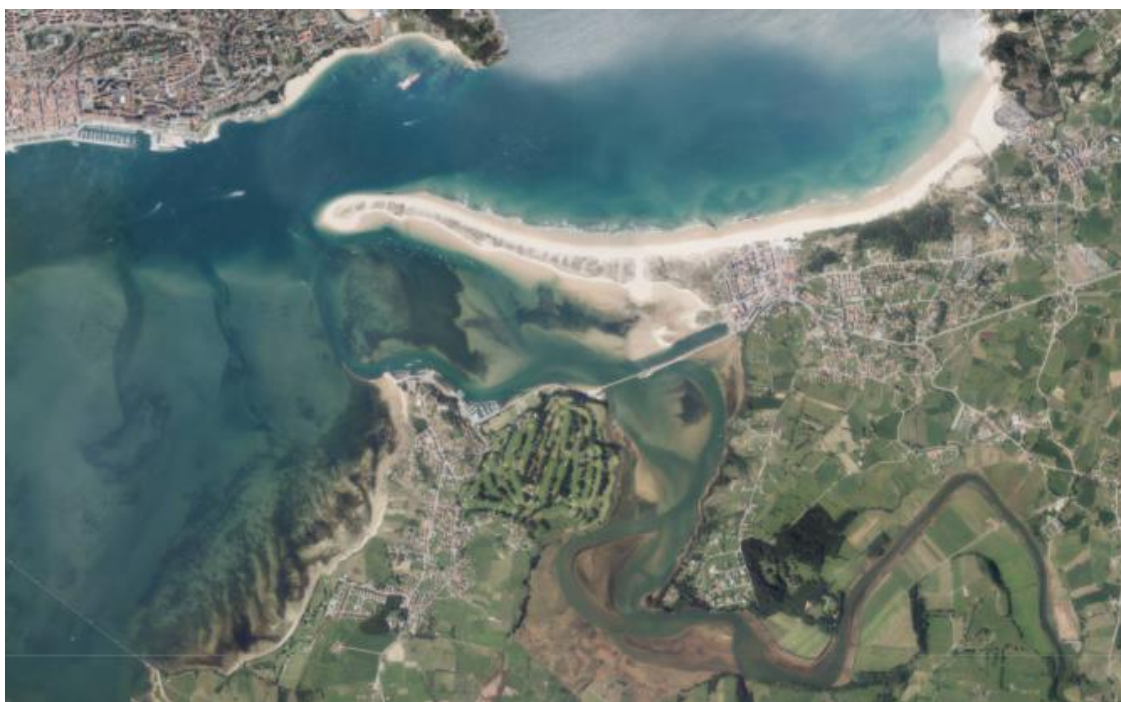
Bosques y áreas seminaturales	4,208	km ²	0,41
Masas de agua	885,03	km ²	85,65
Áreas verdes urbanas	0,946	km ²	0,09

Fuente: elaboración propia. Datos del Corine Land Cover (2018)

Como se puede ver, el porcentaje de áreas naturales y seminaturales es minoritaria (el 0,41% de la superficie de estudio), al igual que las áreas verdes urbanas (el 0,09%). De hecho, respecto del total de área urbana de Santander, el porcentaje de áreas verdes urbanas supone únicamente un 2,95%, siendo el 97,05% restante, superficie construida o impermeabilizada.

Por otro lado, el 85,65% de la superficie total de estudio está constituida por masas de agua, entre las que se incluyen humedales interiores y costeros, estuarios y marismas de agua salada, y el mar.

En el término municipal de Santander no existen actualmente espacios naturales protegidos. No obstante, en el área analizada en este estudio que comprende, también, el fondo de la Bahía, se encuentra el Lugar de Importancia Comunitaria (LIC), recogido en la Red Natura 2000, situado en la orilla oriental de la Bahía de Santander, denominado ES 1300005 Dunas del Puntal y Estuario del Miera (Ayuntamiento de Santander; PGOU Santander, 2019) que es, a su vez, una Zona de Especial Conservación (ZEC). Este espacio litoral, por su proximidad al término municipal de Santander, se ha considerado de importancia en este estudio, así como sus espacios colindantes.



*Ilustración 23. LIC ES 1300005 Dunas del Puntal y Estuario del Miera.
Fuente: mapas.cantabria.es, 2017.*

A escala local, cabe destacar la Reserva marina de la Isla de Mouro, protegida por la Orden de 6 de agosto de 1986 de la Consejería de Ganadería, Agricultura y Pesca que regula la explotación de los recursos naturales y la pesca en un área de 300 metros alrededor de la isla y la península de la Magdalena (Ayuntamiento de Santander; PGOU Santander, 2019). Además, la Red Natura 2000 recoge la Zona de Especial Protección para las Aves de la Isla de Mouro desde el año 2014 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014).



*Ilustración 24. Zonas protegidas por la Red Natura 2000: LIC (en amarillo) y ZEPA (en azul).
 Fuente: mapas.cantabria.es, 2017.*

2.3.2 Inventario de ecosistemas y servicios ecosistémicos de Santander

Para la identificación de las unidades ambientales con influencia sobre la ciudad de Santander, se han considerado aquéllas dentro de los límites del municipio y, además, parte de los ecosistemas costeros y acuáticos pertenecientes a la costa Cantábrica que la rodea y al área de la Bahía de Santander.

Por tanto, las unidades ambientales identificadas como ecosistemas generadores de servicios ecosistémicos capaces de proveer a la población de recursos son:

- Bosques de frondosas, matorrales y áreas de vegetación dispersa.
- Campos de cultivo y superficies destinadas a la agricultura.
- Ecosistemas costeros: playas, dunas y acantilados
- Humedales y estuarios
- Prados y pastos

Bosques y matorrales

Los bosques, tanto de ribera como los bosques de frondosas caducifolias y encinares, han sufrido, en el entorno de la Bahía de Santander, y del municipio de Santander en sí mismo, una importante disminución de su área potencial, como consecuencia de la

sobreexplotación maderera y de los asentamientos humanos, principalmente. No obstante, pueden observarse bosques en algunas zonas del área de estudio.

Los matorrales, por su parte, como etapas previas a la formación de bosques, pueden encontrarse en diversas zonas del área de estudio. Entre estos ecosistemas se encuentra el Hábitat de Interés Comunitarios “Brezales oromediterráneos endémicos con aliaga”, y el tojo (Ayuntamiento de Santander; PGOU Santander, 2019).

Los principales servicios ecosistémicos que proporcionan los bosques y matorrales son:

Tabla 2. Servicios ecosistémicos de los bosques y matorrales.

Abastecimiento	Alimento Es posible encontrar diversos tipos de frutos silvestres, frutos secos, hongos, y animales de valor cinegético.
	Materiales Los principales productos que se obtienen de los bosques son la leña para uso doméstico, semillas, plantas y resinas con propiedades medicinales.
Regulación	Regulación climática Los ecosistemas forestales son uno de los sumideros de carbono más importantes, por lo tanto, su función en la mitigación del cambio climático es fundamental. Además, la cobertura vegetal proporciona espacios de sombra, amortiguando la temperatura y moderando los efectos del viento.
	Absorción de contaminantes Como unos de los principales sumideros de carbono, llevan a cabo la retención de contaminantes atmosféricos, propiciando la mejora de la calidad del aire.
	Regulación del ciclo hidrológico Los suelos forestales y matorrales favorecen la infiltración del agua y la recarga y mantenimiento de los acuíferos y, además, favorece la evapotranspiración, por lo que desempeñan un importante papel en la gestión del agua de escorrentía y previniendo inundaciones.
	Regulación de la erosión La presencia de raíces en el suelo desempeña una función estabilizadora del suelo frente al arranque de materiales, y frenando la erosión y posibles deslizamientos.
	Regulación de eventos extremos Los efectos en la regulación de la escorrentía y la protección frente al viento, favorece la prevención de inundaciones.
	Polinización La presencia de árboles y arbustos, con su diversidad de flores supone una fuente de alimento para multitud de polinizadores. A su vez, constituyen un entorno propicio para la polinización.
	Mantenimiento del hábitat Los ecosistemas forestales y matorrales constituyen el hábitat principal de múltiples especies vegetales y animales, además de desempeñar la función de corredor ecológico entre ecosistemas.
Culturales	Uso recreativo Estos ecosistemas suponen una fuente de ocio y actividades de esparcimiento.
	Valor paisajístico Contribuyen a el disfrute estético del paisaje.

Fuente: elaboración propia. Basado en (Ametzaga, Fernández de Manuel, & Peña-López, 2017).

Cultivos

Los cultivos presentes en el área metropolitana de Santander se caracterizan por ser pequeñas extensiones agrarias dispersas por todo el territorio, que engloban tanto huertas y viveros como cultivos intensivos (Ametzaga, Fernández de Manuel, & Peña-López, 2017). En cuanto a las huertas, se ubican en pequeñas explotaciones en las áreas periurbanas, y su producción se destina, principalmente al autoconsumo.

Los principales servicios ecosistémicos que proporcionan los cultivos son:

Tabla 3. Servicios ecosistémicos proporcionados por los cultivos.

Abastecimiento	Alimento La producción de alimento es el servicio fundamental que proporcionan los cultivos. Entre las producciones más frecuentes se encuentran las hortalizas, verduras, frutas, legumbres, etc.
	Materiales Destaca el cultivo de determinadas plantas con usos medicinales.
Regulación	Regulación climática Los cultivos, como cobertura vegetal, contribuye a la regulación climática.
	Absorción de contaminantes Poseen la capacidad de retener contaminantes atmosféricos, propiciando la mejora de la calidad del aire.
	Regulación del ciclo hidrológico Los suelos forestales y matorrales favorecen la infiltración del agua y la recarga y mantenimiento de los acuíferos, y además, favorece la evapotranspiración, por lo que desempeñan un importante papel en la gestión del agua de escorrentía y previniendo inundaciones.
	Regulación de la erosión La presencia de raíces en el suelo desempeña una función estabilizadora del suelo frente al arranque de materiales, y frenando la erosión y posibles deslizamientos.
	Polinización Los cultivos desempeñan un papel fundamental en la polinización, sirviendo de alimento para multitud de polinizadores.
Culturales	Uso recreativo Estos ecosistemas suponen una fuente de ocio y actividades de esparcimiento.

Fuente: elaboración propia. Basado en (Ametzaga, Fernández de Manuel, & Peña-López, 2017).

Prados

Los prados se encuentran, por lo general, en las zonas de suave relieve, propicias para el crecimiento de una gran diversidad de especies, entre las que predominan las

gramíneas (Ametzaga, Fernández de Manuel, & Peña-López, 2017). Se pueden distinguir dos tipos, fundamentalmente:

- Los prados de siega, destinados al aprovechamiento intensivo.
- Los prados o pastos de diente, destinados al pastoreo, exclusivamente.

Una gran parte de las praderías presentes en el municipio, se extienden a lo largo de la zona norte costera, compuesta por parcelas rectangulares, que son praderías, fundamentalmente.

Los principales servicios ecosistémicos que proporcionan los prados son:

Tabla 4. Servicios ecosistémicos proporcionados por los prados.

Abastecimiento	Alimento Los prados y pastos constituyen la principal fuente de alimento para diversas especies animales relacionadas con la actividad ganadera, de las que se obtienen alimentos como la leche o la carne, principalmente.
	Materiales De la actividad ganadera se obtienen diversos materiales de origen animal, como el cuero o la lana. En los propios prados, pueden, además, crecer plantas de uso medicinal.
Regulación	Regulación climática Los prados y la vegetación que los compone actúan como sumidero de carbono, aunque en menor medida que los ecosistemas forestales o matorrales. Contribuyen, por tanto, a la regulación del clima.
	Absorción de contaminantes Como unos de los principales sumideros de carbono, llevan a cabo la retención de contaminantes atmosféricos, propiciando la mejora de la calidad del aire.
	Regulación del ciclo hidrológico Los suelos forestales y matorrales favorecen la infiltración del agua y la recarga y mantenimiento de los acuíferos y, además, favorece la evapotranspiración, por lo que desempeñan un importante papel en la gestión del agua de escurrimiento y previniendo inundaciones.
	Regulación de la erosión La presencia de raíces en el suelo desempeña una función estabilizadora del suelo frente al arranque de materiales, y frenando la erosión y posibles deslizamientos.
	Polinización Los prados suponen una fuente de alimento para multitud de polinizadores. A su vez, constituyen un entorno propicio para la polinización.
Culturales	Mantenimiento del hábitat Son hábitat de múltiples especies vegetales y animales.
	Uso recreativo

Estos ecosistemas suponen una fuente de ocio y actividades de esparcimiento.

Valor paisajístico

Contribuyen a el disfrute estético del paisaje.

Fuente: elaboración propia. Basado en (Ametzaga, Fernández de Manuel, & Peña-López, 2017).

Aguas continentales: ríos, rías y lagunas

En cuanto a masas de agua naturales, la red hidrográfica del área de estudio está conformada, a excepción del río Miera al fondo de la Bahía, por un conjunto de arroyos de carácter estacional y pequeña entidad (Ametzaga, Fernández de Manuel, & Peña-López, 2017).

El río Miera, en su tramo final, próximo a su desembocadura en el entorno del estuario del Miera, discurre principalmente entre praderías y zonas urbanas de pequeña entidad, predominantemente rurales. La ribera del Miera se caracteriza por la presencia de vegetación y fauna muy diversa y de gran valor ecológico.

En esta categoría, cabe citar la Vaguada de las Llamas, situada al norte del casco urbano de Santander. Posee una extensión de unas 560 hectáreas, y su configuración geográfica se corresponde a una vaguada por cuyo fondo discurre, de forma estacional, un pequeño curso de agua, que recoge las aguas vertientes de las laderas que la encierran. Dicha vaguada alberga el Parque de las Llamas, que constituye una importante área verde, cuyo objetivo es la conservación del humedal existente en el centro de la vaguada y que, afectado por el desarrollo urbanístico de Santander, recupera así, su importancia como fuente de biodiversidad y hábitat, y espacio para el uso recreativo y de gran valor cultural.



*Ilustración 25. Humedal del parque de las llamas.
 Fuente: SEO BirdLife (seo.org), 2013.*

También puede citarse la laguna de la Remonta, de menor entidad, localizada al este de la Peña de Peñacastillo, que constituye una laguna de origen artificial con vegetación palustre en sus bordes, así como diversas especies acuáticas (Ayuntamiento de Santander; PGOU Santander, 2019). Este espacio se considera de especial valor ambiental debido al gran número de especies orníticas encontradas (Ayuntamiento de Santander; PGOU Santander, 2019).

Tabla 5. Servicios ecosistémicos proporcionados por las aguas continentales.

Abastecimiento	Alimento En estas aguas pueden encontrarse múltiples especies animales que son a su vez fuentes de alimento: peces, cangrejos, etc.
	Materiales Estos ecosistemas pueden proporcionar algunos tipos de materiales con usos diversos.
	Energías renovables La fuerza de algunos de estos ríos puede transformarse en energía hidráulica.
Regulación	Regulación climática Las aguas continentales y la vegetación que las rodea como la vegetación de ribera, contribuye a la regulación climática como sumideros de carbono. Además, favorecen la regulación de temperatura.
	Absorción de contaminantes En las aguas continentales se produce la dilución de contaminantes, contribuyendo al mantenimiento de la calidad del agua. Además, la vegetación que rodea estas aguas contribuye a la calidad del aire.
	Regulación del ciclo hidrológico Las masas de agua continental funcionan, cuando se encuentran en buen estado de conservación, como reguladores del ciclo hidrológico, evitando inundaciones.
	Regulación de eventos extremos Actúan almacenando grandes cantidades de agua pluvial, amortiguando los efectos de las lluvias, y evitando inundaciones.
	Mantenimiento del hábitat Constituyen el hábitat principal de múltiples especies vegetales y animales.
Culturales	Uso recreativo Estos ecosistemas suponen una fuente de ocio y actividades de esparcimiento, como la pesca, la observación de aves, etc.
	Valor paisajístico Constituyen paisajes singulares y contribuyen a la calidad estética del paisaje.

Fuente: elaboración propia. Basado en (Ametzaga, Fernández de Manuel, & Peña-López, 2017).

Humedales y estuarios

La Bahía de Santander, con una extensión de 2346 hectáreas, es el mayor estuario de la provincia de Cantabria. En la Bahía desembocan diversos ríos, entre ellos, uno de los principales ríos de Cantabria, el río Miera. Actualmente, el estuario conserva

únicamente el 50% de su superficie original, ya que, durante largos períodos la industrialización, el crecimiento de los núcleos urbanos y las necesidades de mayores instalaciones portuarias han ido ganando espacio al estuario (González, 2009). No obstante, desde las décadas de 1990-2000 se han llevado a cabo diversas iniciativas de saneamiento, conservación y restauración de la bahía y zonas de marisma.

El espacio intermareal de la Bahía representa el 67% del área total, y se concentra, fundamentalmente, en la margen derecha (Ametzaga, Fernández de Manuel, & Peña-López, 2017). Estos páramos intermareales constituyen hábitats con una enorme diversidad de especies.

En esta categoría puede citarse, también, el ya mencionado humedal de la Vaguada de las Llamas.

Los principales servicios ecosistémicos que proporcionan los humedales y estuarios se muestran a continuación:

Tabla 6. Servicios ecosistémicos proporcionados por humedales y estuarios.

Abastecimiento	<p>Alimento</p> <p>En los humedales y estuarios habitan múltiples especies de animales comestibles: peces, moluscos, crustáceos, etc. que, además de ser alimento para el ser humano, sirven de alimento a otras especies piscícolas y avícolas.</p>
Regulación	<p>Regulación climática</p> <p>Constituyen importantes sumideros de carbono. La vegetación que los rodea realiza las funciones de secuestro y almacenamiento del carbono atmosférico, contribuyendo a la regulación del clima.</p> <p>Absorción de contaminantes</p> <p>Como unos de los principales sumideros de carbono, llevan a cabo la retención de contaminantes atmosféricos, propiciando la mejora de la calidad del aire.</p> <p>Purificación del agua</p> <p>Llevan a cabo una función de depuración del agua, mediante la retención de las partículas presentes en el mismo, y mejorando la calidad del agua.</p> <p>Regulación del ciclo hidrológico</p> <p>La vegetación presente en estos ecosistemas cumple la función de almacenar y mantener un flujo de agua constante.</p> <p>Regulación de la erosión</p> <p>La presencia de vegetación propia de estos ecosistemas estabiliza el suelo y evita la erosión y los transportes de material debidos principalmente a las mareas, en humedales costeros, y vientos o actividad humana, en humedales interiores.</p> <p>Regulación de eventos extremos</p> <p>Desempeñan un papel fundamental en la absorción y almacenamiento de agua, evitando inundaciones.</p> <p>Mantenimiento del hábitat</p>

	Son el hábitat principal de múltiples especies vegetales y animales.
Culturales	Uso recreativo Estos ecosistemas suponen una fuente de ocio y actividades de esparcimiento.
	Valor paisajístico Contribuyen a el disfrute estético del paisaje.

Fuente: elaboración propia. Basado en (Ametzaga, Fernández de Manuel, & Peña-López, 2017).

Ecosistemas costeros: playas, dunas y acantilados

Los ecosistemas costeros se extienden a lo largo del litoral, y están enormemente influenciados por el Mar Cantábrico, al norte. Estos ecosistemas se han visto especialmente sometidos a presiones por parte de la actividad humana, especialmente en épocas estivales.

Como ecosistemas costeros, destacan fundamentalmente las playas Primera y Segunda de El Sardinero y el área ocupada por el Cabo Menor y el Cabo Mayor, y las playas que albergan, como la de los Molinucos y Mataleñas.

La costa norte del municipio, que comprende la franja de terreno desde el Cabo Mayor hasta el límite occidental del municipio, presenta un grado de antropización relativamente bajo y, por tanto, elevados valores ambientales, ecológicos y paisajísticos. Incluye la zona de acantilados y, además, un extenso conjunto de matorrales y praderías costeras (Ayuntamiento de Santander; PGOU Santander, 2019). Este espacio, constituye un ecosistema de borde entre los dominios terrestre y marítimo con unas características ecológicas únicas, y la presencia de tres hábitats recogidos en el inventario de hábitats naturales del Ministerio de Medio Ambiente. Estos se encuentran localizados en el entorno costero del Norte, entre el Cabo Mayor y la Maruca, y en el entorno de la isla de la Virgen del Mar (Ayuntamiento de Santander; PGOU Santander, 2019).

Además, como ecosistema litoral más importante, se encuentra la ZEC de las Dunas del Puntal, recogido en la Red Natura 2000 por su importancia ecológica y por la presencia de numerosos hábitats.

Los principales servicios ecosistémicos que proporcionan ecosistemas costeros son:

Tabla 7. Servicios ecosistémicos proporcionados por los ecosistemas costeros.

Abastecimiento	Alimento Los ecosistemas costeros, proporcionan alimento procedente prioritariamente del mar que los rodea: pescado, marisco, etc.
Regulación	Regulación climática La vegetación que los rodea realiza las funciones de secuestro y almacenamiento del carbono atmosférico, contribuyendo a la regulación del clima.
	Absorción de contaminantes

Llevar a cabo la retención de contaminantes atmosféricos, propiciando la mejora de la calidad del aire.

Regulación del ciclo hidrológico

La vegetación presente en estos ecosistemas cumple la función de almacenar y mantener un flujo de agua constante.

Regulación de la erosión

La presencia de vegetación propia de estos ecosistemas estabiliza el suelo y evita la erosión y los transportes de material debidos principalmente al oleaje, mareas y vientos fuertes.

Regulación de eventos extremos

Desempeñan un papel fundamental en el amortiguamiento de los oleajes y mareas vivas.

Mantenimiento del hábitat

Son el hábitat principal de múltiples especies vegetales y animales.

Culturales

Uso recreativo

Estos ecosistemas suponen una fuente de ocio y actividades de esparcimiento, especialmente en la época estival.

Valor paisajístico

Contribuyen a el disfrute estético del paisaje.

Fuente: elaboración propia. Basado en (Ametzaga, Fernández de Manuel, & Peña-López, 2017).

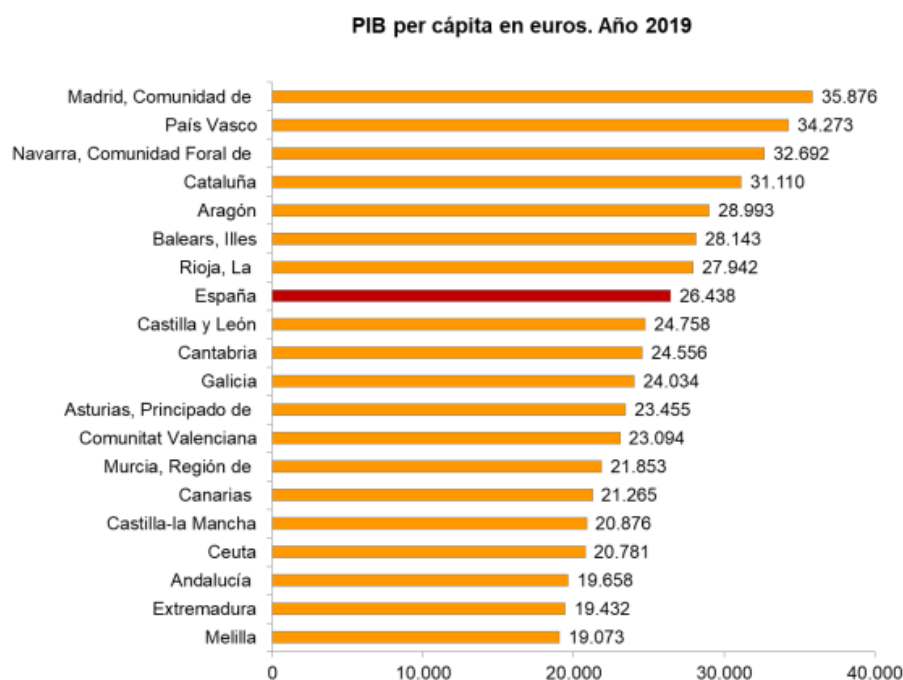


Ilustración 26. Playa de Matalaños.
Fuente: Thais Ribelles (playascalas.com), 2011.

2.4 Situación actual

2.4.1 Ámbito socioeconómico

Se ha considerado el Producto Interior Bruto (PIB) como la magnitud que mejor define el comportamiento económico de la zona de estudio, puesto que constituye el principal indicador de actividad económica. El PIB a precios corrientes de la comunidad autónoma de Cantabria es de 14.228,250 millones de euros (INE, 2019), lo que supone un 1,1% del PIB nacional, con una tasa de variación interanual del 3,5%. El PIB per cápita en la región de Cantabria se sitúa por debajo del total nacional, de 26.438 euros por habitante, con un valor de 24.556 euros por habitante al año (INE, 2019).



*Ilustración 27. Gráfica del PIB regional per cápita en el año 2019.
 Fuente: INE, 2019.*

En el municipio de Santander, según los datos del (ICANE, 2020), la renta disponible bruta en 2016 era de 2.880.191 miles de euros, mientras que la renta disponible bruta per cápita era de 16.689 euros, inferior a la media regional y nacional.

La estructura económica de la ciudad de Santander está íntimamente relacionada con su situación geográfica, entre una bahía natural y el mar Cantábrico. Es por este motivo que, el desarrollo económico de Santander es paralelo al desarrollo de su puerto y del conjunto urbano de la ciudad (Ayto. de Santander, 2010).

A continuación, se presentan los rasgos característicos de los principales sectores económicos de la ciudad de Santander, en relación con la naturaleza de sus actividades y su influencia en el desarrollo económico y social de la ciudad.

2.4.1.1 Sector primario

En el municipio de Santander y el área del fondo de la bahía la actividad agropecuaria es predominantemente escasa, y se concentra fundamentalmente en la periferia de la ciudad, en los entornos tradicionalmente rurales. En la actualidad, la estructura económica de estas zonas ha experimentado una transformación hacia el predominio de otros sectores económicos, siendo la única actividad del sector primario que aún mantiene un cierto peso la tradicional actividad pesquera.

Según datos del Censo Agrícola (2009), en el municipio de Santander, la superficie agrícola utilizada (SAU) era de 818,26 hectáreas, y existían unas 1.387,69 unidades ganaderas. En total, el número de explotaciones en el municipio eran 82. El número de afiliados a la seguridad social en los sectores de agricultura y pesca en el municipio de Santander era de 435 personas en el año 2020 (Tesorería General de la Seguridad Social (TGSS), 2020).



*Ilustración 28. Mariscador en la Bahía de Santander.
 Fuente: eldiariomontanes.es, (s.f.).*

La Bahía de Santander es un ecosistema rico en el que predominan la actividad pesquera y marisquera. En torno a la bahía se desarrolla la mayor parte de la actividad del sector pesquero.

2.4.1.2 Actividad portuaria

En torno al puerto de Santander, la actividad portuaria está estrechamente ligada al desarrollo económico de la región de Cantabria. Según Juanes et al. (2020), los graneles sólidos, la carga y el tráfico total del puerto muestran una tendencia al alza desde 1962 hasta 2018. Entre 2003 y 2007 tuvo lugar un incremento de las toneladas manipuladas en el puerto, seguido de un colapso entre 2007 y 2010, debido a la crisis económica. El crecimiento del transporte marítimo de mercancías ha continuado con una tendencia al

alza desde entonces, al tiempo que el comercio marítimo mundial aumentaba y tenía lugar el crecimiento de la economía nacional.



*Ilustración 29. Ferry que une Santander con Irlanda atracado en la Bahía.
Fuente: ifomo.es. (s.f.).*

El puerto de Santander cuenta con multitud de líneas marítimas regulares, entre las que destacan las conexiones con Portsmouth y Plymouth (Reino Unido) y Cork (Irlanda), con un promedio anual de 200.000 pasajeros (Juanes, et al., 2020). Por otro lado, las líneas navieras locales en el interior de la bahía mueven 300.000 pasajeros al año entre las dos orillas opuestas de la bahía de Santander.

2.4.1.3 Desarrollo urbano e industrial

La mayor parte del litoral de la bahía está ocupado por asentamientos urbanos. El asentamiento de mayor entidad es la ciudad de Santander, con una población en el año 2020 de 172.539 habitantes (ICANE, 2020). Además, alrededor de la bahía se encuentran otros ocho municipios que albergan aproximadamente el 35% de los habitantes de la región de Cantabria (Remondou, Diaz-Simal, Koundouri, & Rulleau, 2015). Es por este motivo que la bahía se encuentra rodeada por una gran diversidad de actividades antropogénicas, con los efectos que ello conlleva al ecosistema de la bahía. Los estuarios se han visto sometidos a una importante presión por las continuas descargas urbanas e industriales no tratadas hasta el año 2001, aunque estos vertidos hayan sido parcialmente compensados por la capacidad de autodepuración asociada a la renovación de las aguas generadas por los ciclos de marea (Echavarri-Erasun, Juanes, Puente, & Revilla, 2010).

En cuanto al sector secundario, es necesario distinguir entre el subsector industrial y el de la construcción. Este sector presenta una tendencia decreciente en cuanto a la importancia de éste, tanto a nivel autonómico como municipal.

En la bahía se desarrollan diversas actividades industriales, principalmente relacionadas con la metalurgia y la industria química. Por ello, es frecuente la carga y descarga de carbón, hormigón, compuestos químicos, minerales, etc. en los márgenes de la bahía (Juanes, et al., 2020).



*Ilustración 30. Puerto de Santander.
 Fuente: eldiariocantabria.es, (s.f.).*

Los principales puntos de descarga de las aguas residuales urbanas se encuentran en el margen oeste de la bahía, que recibe actualmente los desbordamientos de los sistemas de alcantarillado combinado, producidos cuando el sistema supera su capacidad (De los Ríos, et al., 2018). Los efluentes tratados biológicamente se descargan fuera de la bahía mediante un emisario submarino (Echavarri-Erasun, Juanes, García-Castrillo, & Revilla, 2007).

El espacio industrial en la ciudad de Santander se sitúa, fundamentalmente, en el sureste del municipio. Estos espacios son terrenos ganados al mar a lo largo de los años y que, cuentan con una red viaria próxima que permite las conexiones con el exterior (Ayto. de Santander, 2010). Además, la zona industrial destaca por su cercanía a la zona portuaria.

2.4.1.4 Sector servicios

El sector terciario o sector servicios ocupa a tres cuartas partes de la población activa del municipio de Santander, por encima de la media regional.

Es de especial interés en este estudio, el análisis del sector turístico en Santander y alrededores. Santander recibió, en el año 2019, en el mes de agosto, hasta 65.538 viajeros con un grado de ocupación del 88,38% según datos del ICANE (2021).

Alrededor de la Bahía de Santander se desarrollan un importante número de actividades turísticas y recreativas: natación en las playas, navegación a motor, pesca deportiva y navegación a vela, entre otras.

En el área de estudio encontramos hasta diez playas con aguas destinadas al baño situadas fuera de la bahía, entre las que destacan las playas de El Sardinero, y dos en su interior (las playas de Los Peligros y de la Magdalena). Estas playas desempeñan un papel fundamental como lugares de encuentro y desarrollo de actividades sociales y turísticas. Es por ello por lo que las playas de Santander son uno de los activos naturales más valiosos de Cantabria (Remondou, Diaz-Simal, Koundouri, & Rulleau, 2015).



*Ilustración 31. Playa de Los Peligros en la Bahía de Santander.
 Fuente: Thais Ribelles (2011)*

La bahía de Santander es considerada una de “las Bahías más bellas del mundo” y, por ello, la ciudad atrae al 45% de turistas y visitantes de Cantabria (Juanes, et al., 2020). La bahía y sus alrededores son un lugar privilegiado en cuanto a condiciones hidrodinámicas para la práctica de deportes acuáticos. Existen tres puertos deportivos: Puerto Chico, Marina Santander y Pedreña; tres zonas de fondeo; cuatro escuelas de vela; y 12 clubes deportivos (Gómez, 2019).

2.4.2 Principales amenazas y debilidades del área de estudio

Las principales amenazas a las que se enfrentan los ecosistemas presentes en el área de estudio están referidas a la dimensión medioambiental. La Bahía de Santander se ha visto, durante décadas, afectada por altos niveles de contaminación generados en el interior de la bahía procedentes de las actividades industriales predominantes, así como de las actividades mineras. En la actualidad, pese a haberse reducido estos niveles de contaminación con el cese de algunas de estas actividades, aún persisten múltiples problemáticas que deben gestionarse como el control de las aguas de lastre procedentes de los buques que frecuentan la bahía, que constituye una de las principales fuentes de

especies invasoras y la contaminación derivada del uso de hidrocarburos pesados en la navegación (Juanes, et al., 2020).

Las debilidades del entorno de la Bahía de Santander afectan no sólo al sector económico, sino también a la población, debido a la carencia de conocimiento popular al respecto de los valores reales de la naturaleza y el patrimonio cultural para el bienestar humano, como el papel de los ecosistemas presentes en los estuarios para la protección de las costas; los efectos producidos por las acciones cotidianas de la población, como la alteración de las dunas por el turismo de playa; y el valor de las acciones individuales en la solución a los problemas de la bahía (Juanes, et al., 2020).

No obstante, la principal amenaza del estuario de la Bahía de Santander es la alta exposición a los cambios de factores externos como la elevación del nivel del mar o la temperatura del agua, que pueden ocasionar la modificación de algunos de los bienes y servicios que proporciona la bahía.



*Ilustración 32. Mapa de las áreas costeras con probabilidad media de inundación en 100 años (en amarillo).
 Fuente: <https://mapas.cantabria.es/>, 2020.*

Las playas y ecosistemas costeros de Santander, según el estudio realizado por Villatoro et al. (2014) experimentarán un incremento de la probabilidad de inundación para el año 2050, incrementándose la probabilidad de excedencia del nivel máximo de inundación de 7,2 metros desde un valor de 0,6 en 2010 a 0,8 en 2050. En este mismo estudio se ha determinado que las playas con mayor ratio de erosión son las de El Sardinero y El Puntal.

2.4.3 Indicadores de Calidad de Vida

Uno de los objetivos fundamentales de este proyecto es la cuantificación de la rentabilidad de la inversión en infraestructura verde en las ciudades, tomando como indicador de rentabilidad, no sólo el aspecto puramente económico, sino también, cuantificando dicha rentabilidad en términos de “mejora de la calidad de vida” de los habitantes de la ciudad.

Cuantificar la calidad de vida de los ciudadanos es un proceso complejo, puesto que, dicho concepto puede parecer subjetivo y, en ciertos aspectos, intangible. No obstante, es

posible medir la calidad de vida de los habitantes de una ciudad y relacionarla con los procesos que constituyen la dinámica de las ciudades y en este caso, con las consecuencias de las intervenciones ingenieriles.

Para cuantificar de forma precisa la calidad de vida de los habitantes de una ciudad se emplean unos indicadores de Calidad de Vida. Los antecedentes de estos indicadores se encuentran en diversas iniciativas desarrolladas a nivel europeo para delimitar los indicadores más apropiados para medir los aspectos sociales, de bienestar y sostenibilidad asociados al progreso. A nivel europeo destacan la Conferencia de la Comisión Europea en 2007, la Comunicación de la Comisión Europea en 2009, la Publicación del Informe Stiglitz-Sen-Fitoussi en 2009, el Comité del Sistema Estadístico Europeo (CSSE), Eurostat, y a nivel nacional, el Consejo Superior de Estadística. Por su parte, la OCDE y las Naciones Unidas han desarrollado también sus propias herramientas.

El Informe Stiglitz-Sen-Fitoussi (Stiglitz, Sen, & Fitoussi, 2009) pone de manifiesto la necesidad de realizar un análisis multidimensional, considerando el conjunto de las dimensiones de la calidad de vida. Cabe destacar el Informe Final del Grupo de Trabajo de Expertos en Indicadores de Calidad de Vida, publicado en 2017. En dicha publicación se siguen las directrices principales del esquema de indicadores definido por Eurostat, pero incluyendo elementos propios, como algunos indicadores considerados relevantes en el análisis de algunas dimensiones.

Las dimensiones incluidas en este informe son nueve:

1. Condiciones materiales de vida
2. Trabajo
3. Salud
4. Educación
5. Ocio y relaciones sociales
6. Seguridad física y personal
7. Gobernanza y derechos básicos
8. Entorno y medioambiente
9. Experiencia general de la vida

En la siguiente ilustración se muestra la evolución de los indicadores de calidad de vida relativos a cada una de las dimensiones previamente citadas en la comunidad autónoma de Cantabria, en los años 2008, 2013 y 2019.

VALORES AMPI 2008, 2013 y 2019 por dimensiones
Total nacional 2008=100

Cantabria	2008	2013	2019
1. Condiciones materiales de vida	102,14	99,41	103,74
2. Trabajo	101,36	96,00	101,49
3. Salud	101,11	100,33	105,94
4. Educación	101,23	105,85	108,41
5. Ocio y relaciones sociales	103,29	104,65	105,59
6. Seguridad física y personal	108,28	108,43	108,99
8. Entorno y medio-ambiente	105,52	106,82	108,15
9. Experiencia general de la vida	100,60	100,60	106,38

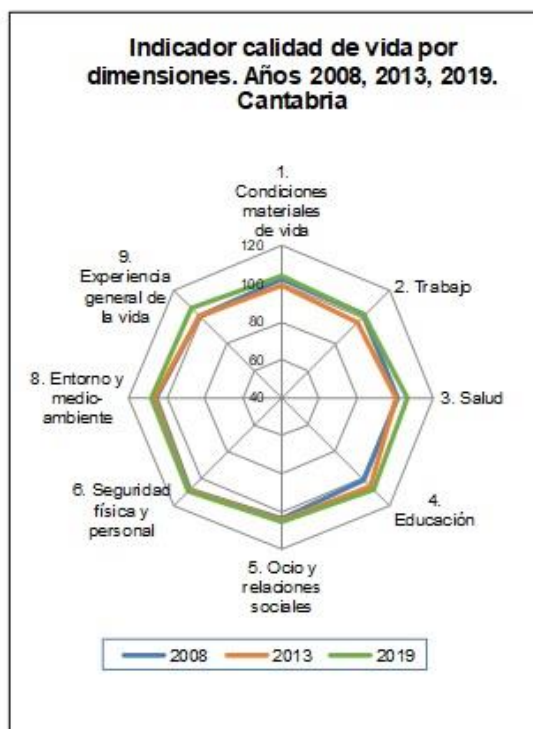


Ilustración 33. Evolución de los indicadores de calidad de vida por dimensiones en Cantabria en los años 2008, 2013 y 2019.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2019.

Resulta evidente que cualquier actuación ingenieril (en el caso de estudio, relacionada con el ámbito de la infraestructura verde) afecta de forma directa o indirecta a la mayor parte de estas nueve dimensiones. No obstante, algunas de estas dimensiones se ven afectadas de una forma más directa que otras, y de forma mucho más intuitiva.

2.4.3.1 Indicadores actuales de calidad de vida en Santander

Algunos de estos indicadores son relevantes en este proyecto, puesto que permiten cuantificar, en términos de calidad de vida, la rentabilidad de la inversión en infraestructura verde y regeneración de ecosistemas.

A continuación, se recogen algunos de los indicadores de calidad de vida relativos a las dimensiones que son objeto de estudio en este proyecto, según últimos datos disponibles en el INE (2020).

Dimensión 1: Condiciones materiales de vida

Esta primera dimensión hace referencia a tres subdimensiones: condiciones económicas, condiciones materiales y seguridad económica.

- **Condiciones económicas**

El principal indicador de las condiciones económicas de una región es la renta media y mediana. En la Comunidad Autónoma de Cantabria, la renta media con base 2013, por unidad de consumo era de 17.742 euros en el año 2019 (INE, 2020).

Por otro lado, la población en riesgo de pobreza en la comunidad autónoma después de transferencias sociales, considerando como umbral de pobreza una renta mediana equivalente inferior al 60% de la media anual, es en el año 2019 del 28,5% de la población total.

El índice de desigualdad en Cantabria era, en 2019 de valor 5,2. La satisfacción con la situación económica en el hogar en la comunidad de Cantabria tenía un valor de satisfacción media de 6,5 en 2018. Según los datos del INE (2020), en el año 2017, la renta disponible ajustada bruta en la región era de 10.741.375 miles de euros.

El gasto en consumo final de los hogares fue en 2016 de 8.981.440 miles de euros. El mayor gasto tuvo lugar en el consumo en vivienda, agua, electricidad, gas y otros combustibles, de 2.115.282 miles de euros, seguido de los gastos en el consumo de alimentos y bebidas no alcohólicas, transporte y hoteles, cafés y restaurantes.

- **Condiciones materiales**

En la Comunidad Autónoma de Cantabria, según datos del INE (2020), en el año 2019 el 7% de la población total presentaba problemas para llegar a fin de mes. Además, el 6,8% de la población total se considera población en situación de carencia material y el 0,9% en situación de carencia material severa.

Dimensión 2: Trabajo

El trabajo remunerado es una actividad que abarca una parte muy importante de la vida de la población, más concretamente, de la población activa, y tiene un efecto muy significativo en su calidad de vida. La influencia principal del trabajo en la calidad de vida de los ciudadanos se basa en la generación de renta, lo que permite a los individuos alcanzar unas mejores condiciones económicas y materiales. Por otro lado, el trabajo consta de una dimensión social, puesto que desempeña un papel fundamental en la integración y socialización con otros individuos y permite alcanzar metas de realización profesional y personal.

No obstante, esta dimensión incluye consecuencias negativas en la calidad de vida, debido a la ausencia de empleo, a unas condiciones de trabajo de baja calidad, etc. Esta dimensión se divide en dos subdimensiones:

- **Cantidad**

En este apartado se incluyen los indicadores empleados tradicionalmente para medir la participación en el mercado de trabajo: empleo, paro, paro de larga duración, así como un indicador de subempleo: empleo voluntario a tiempo parcial. Los valores de estos indicadores se incluyen en la Encuesta de Población Activa.

La tasa de empleo en la Comunidad de Cantabria es, en el año 2019, del 49,4% de la población mayor de 16 años. Por otro lado, la tasa de paro es del 10,3% de la población activa, en el mismo año. La tasa de paro presenta una tendencia decreciente desde que, en 2013, alcanzase su valor máximo de 20,4% de la población activa. Del mismo modo,

la tasa de paro de larga duración viene descendiendo desde su valor máximo en 2014, representando en 2019, al 3,5% sobre la población activa.

- **Calidad**

El enfoque promovido por el Informe Stiglitz-Sen-Fitoussi para medir el bienestar de los individuos va dirigido a medir resultados en calidad de vida, en oposición a los enfoques basados en indicadores de input o recursos empleados. Este subapartado incluye indicadores asociados a la inseguridad económica y psíquica del trabajador: salarios bajos, trabajo temporal, y la conciliación del trabajo y la vida personal. Incluye también un indicador subjetivo, la satisfacción con el trabajo que recoge el Módulo de Bienestar 2013 y 2018 de la Encuesta de Condiciones de Vida.

En 2018 el 15,4% sobre el total de asalariados recibía un salario bajo en Cantabria. En cuanto a las jornadas largas semanales, el 39,3% del total de ocupados trabajaba a largas jornadas en el año 2019.

La temporalidad laboral constituye un detrimento en la calidad de vida de los individuos, y, a largo plazo, presenta efectos negativos en la formación individual y el capital humano, además de disminuir la percepción de seguridad en el trabajo. En 2019, el 24,7 % de la población asalariada lo constituían trabajadores con contratos de trabajo temporal.

En cuanto al grado de satisfacción con el trabajo, en el año 2018, la satisfacción media en Cantabria era de 7,4.

Dimensión 3: Salud

La salud es uno de los aspectos fundamentales y más valorados por las personas. Disponer de un buen estado de salud incrementa las oportunidades de participar en el mercado laboral, en actividades sociales y de ocio, etc., incrementando la calidad de vida.

Esta dimensión se subdivide según el INE (2020), en tres subdimensiones:

- **Resultados**

Se incluyen indicadores que miden objetivamente la salud de las personas, entre ellos, el más representativo son la esperanza de vida a diferentes edades. Se incluyen también percepciones subjetivas de la salud en las que se tienen en cuenta encuestas sobre enfermedades o problemas de salud de larga duración, etc.

En Cantabria, la esperanza de vida al nacer presenta una tendencia ascendente, siendo en el año 2019, de 83,6 años, coincidiendo con la esperanza de vida nacional.

La salud autopercibida por la población depende de variables como el estado de salud autopercibido por la persona, la morbilidad crónica y las discapacidades o limitaciones de larga duración que presente el individuo debido a problemas de salud (INE, 2020).

En Cantabria, el estado de salud autopercibido en 2019, según datos del INE (2020), nos dice que el 12,9% de las personas mayores de 16 años consideraban que su estado

de salud era malo o muy malo. El 23,3 % de personas mayores de 16 años presentaban enfermedades o problemas de salud de larga duración ese mismo año, y el 4% tenían limitaciones en la actividad diaria en los 6 últimos meses.

- ***Determinantes de salud***

En cuanto a los determinantes de salud, son relevantes para este estudio, los que hacen referencia a los hábitos de vida con efectos positivos o negativos sobre la salud de los individuos, como la práctica de actividad física, que previene enfermedades y puede ampliar la esperanza de vida con buena salud. Por otro lado, la tasa de sedentarismo constituye un factor de riesgo para la salud.

En Cantabria, en el año 2017, el porcentaje de población adulta que realizaba ejercicio físico de forma regular era de 22,6%, mientras que el porcentaje de población sedentaria era del 46%, una de las más elevadas del panorama nacional.

Dimensión 5: Ocio y relaciones sociales

Las relaciones sociales y el tiempo dedicado a actividades de ocio suelen ir asociadas a la salud de la población, a mayores oportunidades laborales, etc. Por ello, se considera un factor importante en la calidad de vida de las personas. Se considera que esta dimensión está influenciada en gran medida por la calidad del entorno y de la habilitación de espacios adecuados para el ocio y que favorezcan las relaciones sociales. Esta dimensión se subdivide en dos categorías:

- ***Ocio***

Se incluye en esta categoría la asistencia a eventos culturales y deportivos, o visitas a lugares de interés cultural. Además, tiene en cuenta la satisfacción con el tiempo de ocio disponible.

- ***Relaciones sociales***

Destaca en esta categoría, el factor relacionado con la frecuencia de reuniones con amigos, motivada por la presencia de espacios que favorezcan las interacciones sociales y actividades recreativas.

Dimensión 8: Entorno y medioambiente

- ***Contaminación y ruidos***

La calidad de vida de la población depende en gran medida del entorno y el medioambiente que la rodea. Entre los factores que determinan la calidad del entorno se encuentran el nivel de contaminación, ruidos, y otros problemas medioambientales.

Según los datos del INE (2020), en el año 2019, el 5,6% de la población total de Cantabria sufre problemas de contaminación y otros problemas ambientales, y el 6,8% sufre problemas de ruidos.

Como indicador de contaminación, la concentración de partículas PM10 y PM2,5 en el aire supone uno de los factores más peligrosos para la salud humana. En el año 2019, la media ponderada con la población de Cantabria de la concentración media anual de PM10 es de 21,9 microgramos/m³, y de PM2,5, de 9 microgramos/m³.

- ***Acceso a zonas verdes y de recreo***

En la Encuesta de Condiciones de Vida de 2013 se realizó la medición del grado de satisfacción con las zonas verdes y áreas recreativas, en una escala del 0 (nada satisfecho) al 10 (plenamente satisfecho). En Cantabria, la puntuación media es de 7,1, estando el porcentaje más amplio de población (el 47,7%) en el rango de puntuación de 7 a 8.

- ***Satisfacción con el entorno***

En la Encuesta de Condiciones de Vida se incluye la valoración de las personas sobre el entorno en el que viven. En Cantabria este valor medio es de 7,6, uno de los más altos a nivel nacional.

2.5 Metodología

En este apartado relativo a la metodología seguida en el desarrollo del modelo económico de la ciudad de Santander se procede a describir, en detalle, los pasos que se han seguido en la elaboración del citado modelo. En un primer apartado se introduce el proceso de modelado mediante el software Vensim, a través de una previa descripción del programa y sus funciones. Posteriormente, se detalla el proceso de construcción del modelo, paso a paso, y de cada uno de los sistemas que lo componen. En un segundo apartado se aborda el proceso de calibración de los parámetros, destacando su importancia en el modelado, y aportando las justificaciones pertinentes sobre los valores empleados.

2.5.1 Modelado en Vensim

En este apartado se procede a detallar el proceso de construcción del modelo de la ciudad de Santander mediante una introducción previa al software empleado y, posteriormente, exponiendo el procedimiento de generación de los distintos sistemas que componen el modelo.

2.5.1.1 Introducción al software

Para la elaboración del modelo de dinámica de sistemas del área de estudio se ha empleado el Software Vensim PLE, de Ventana Systems. Se trata de un software de simulación que permite resolver el conjunto de ecuaciones que componen un sistema dinámico complejo de forma sencilla.

Para desarrollar un modelo que represente las complejas dinámicas de una ciudad, es necesario esbozar previamente la estructura del sistema que se va a simular. Para ello, una vez identificadas las variables necesarias, se establecerán las relaciones casuales entre ellas y, finalmente, se introducen las ecuaciones y parámetros necesarios. Las distintas partes del sistema deberán estar interrelacionadas. Estas relaciones constituyen la estructura del sistema, que es representada, habitualmente, mediante diagramas causales.

No obstante, en la simulación de sistemas complejos, como en el caso de una ciudad, un modelo limitado a diagramas causales sería insuficiente. En estos casos, es necesario partir de diagramas causales, para llegar a un Diagrama de Forrester y a las ecuaciones matemáticas necesarias para observar la evolución del sistema cuantitativamente.

Las variables que se utilizan en el modelo pueden ser de distintos tipos: variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares, fundamentalmente.

- **Variables de nivel o estado:** esta tipología de variable muestra en cada momento la situación del modelo. Su evolución depende de los flujos y representa el funcionamiento del sistema.
- **Variables de flujo:** Estas variables son funciones temporales, que determinan las variables de nivel en función del tiempo. A toda variable de estado se le asocia, al menos, una variable de flujo. Estas variables aparecen asociadas a unas ecuaciones que se encargan de definir el comportamiento del sistema.
- **Variables auxiliares:** Estas variables son parámetros que se emplean para visualizar mejor las causas de los flujos del sistema.

2.5.1.2 *Modelo de la ciudad de Santander y el área de la Bahía*

En este apartado se abordan los diferentes pasos que conforman el proceso de construcción del modelo económico mediante el programa Vensim, a partir de la descripción del proceso de creación de cada uno de los sistemas que componen el modelo, y de las variables y relaciones que los constituyen, y los relacionan entre sí para conformar el modelo de la ciudad.

El modelo económico de Santander generado como resultado de este Trabajo Fin de Máster, puede ser descargado, con el fin de facilitar su consulta y la reproductividad del mismo, a través del siguiente enlace.¹

A continuación, se procede a detallar el proceso de desarrollo del modelo económico de la ciudad de Santander y el área del fondo de la Bahía, en el orden en que se ha llevado a cabo.

Límites temporales

Previamente a la elaboración del modelo, es necesario configurar algunos de sus aspectos fundamentales, como los límites temporales en los que va a operar y los saltos temporales entre estados, que determinan los procesos de integración de las variables de nivel.

En el caso particular que se pretende estudiar en este trabajo, se han configurado como límites temporales para el modelo, el año 2000 como año de inicio de la simulación, y el año 2050 como horizonte temporal. Como paso temporal se ha configurado la unidad, y la unidad de tiempo es el año. Por último, el tipo de integración empleado es la integración de Euler.

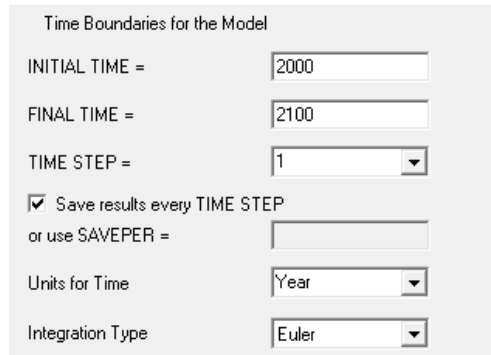
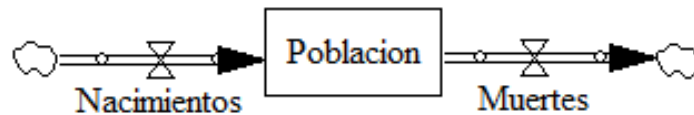


Ilustración 34. Ventana de configuración de los parámetros temporales del modelo.
 Fuente: Elaboración propia (interfaz de Vensim PLE), 2020.

Población

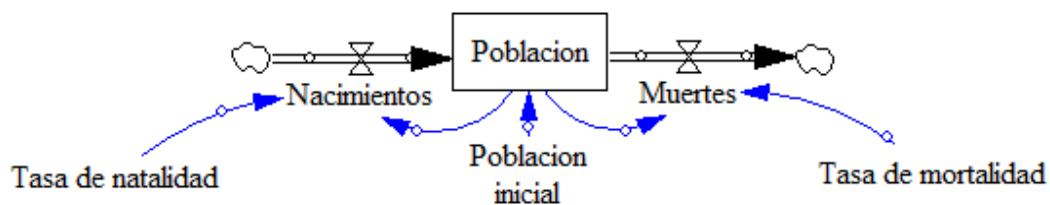
¹https://unicancloud-my.sharepoint.com/:u:/g/personal/ebc724_alumnos_unican_es/EWPFaHtAdKINnIxnOergcCAB-vo6ZKARTnXqAPdMfQVibw?e=U5NOvF

En primer lugar, se ha modelado como un sistema individual la población. La variable población es una variable de estado cuyo diagrama de Forrester muestra los flujos Nacimientos y Muertes.



*Ilustración 35. Diagrama de Forrester Vensim PLE.
Fuente: Elaboración propia, 2020.*

Este sistema va asociado a una serie de variables auxiliares como son: la tasa de natalidad, la tasa de mortalidad y la población inicial, que determinan los flujos de cambio.

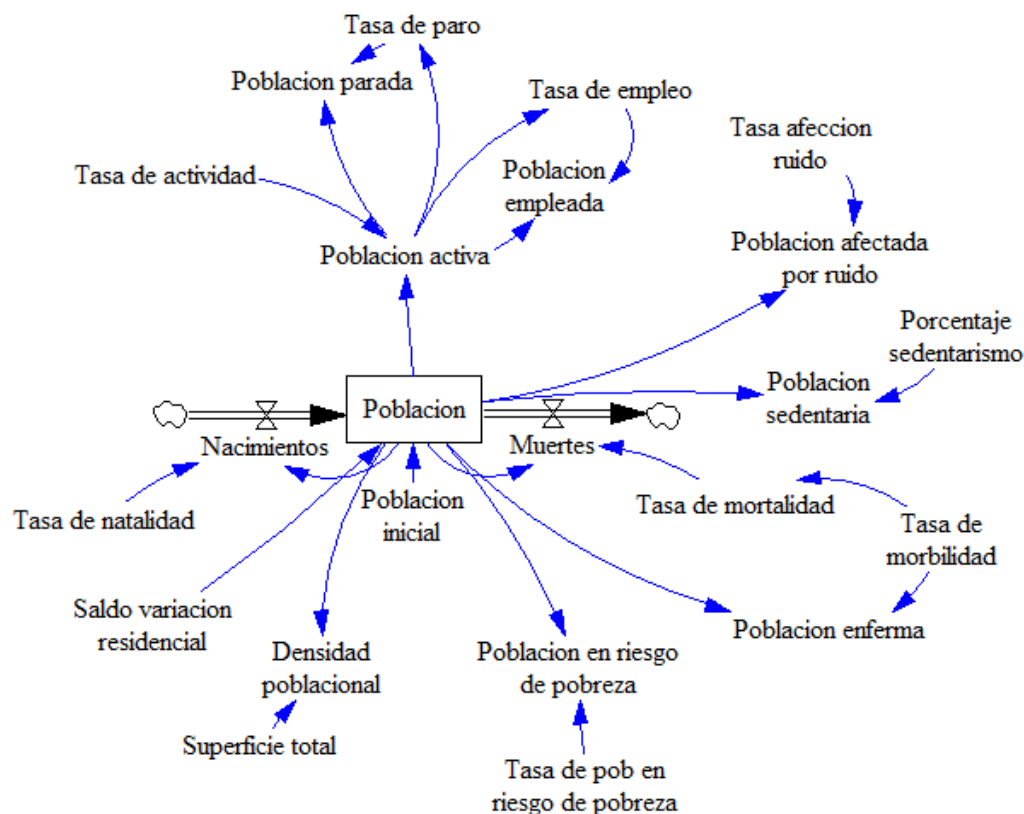


*Ilustración 36. Diagrama Forrester de Población en Vensim.
Fuente: elaboración propia, 2020.*

La población de una ciudad depende de múltiples variables que, a su vez, dependen de otros factores influyentes en la dinámica de la ciudad. Por ello, se ha considerado necesario incrementar el número de variables auxiliares con afección en el comportamiento temporal de la población de Santander y viceversa.

Las variables que se han implementado al modelo para completar el sistema de la Población son:

- El saldo de variación residencial interno.
- La densidad poblacional, función de la superficie total.
- La población en riesgo de pobreza, dependiente de la tasa de población en riesgo de pobreza.
- La población enferma, dependiente de la tasa de morbilidad.
- La población sedentaria, en función del porcentaje de población sedentaria.
- La población activa, que depende de la tasa de actividad.
- Población empleada y parada, dependientes de las tasas de empleo y paro.
- Población afectada por ruido, en función de la tasa de afección por ruido.



*Ilustración 37. Sistema Población en Vensim.
 Fuente: elaboración propia, 2020.*

Contaminación

Como parte fundamental en el modelo que se pretende realizar del área de estudio, se ha considerado esencial analizar los efectos de la contaminación en los ecosistemas, la población y la economía. Por ello, se consideran como focos principales de contaminación en las ciudades las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y, por otro lado, el vertido incontrolado de residuos.

Cada uno de los dos tipos de contaminación considerados se representan mediante variables de nivel. Cada una de estas variables recibe flujos entrantes y salientes de contaminación que hacen que varíen a lo largo del tiempo.

En el caso de la contaminación por emisiones de gases de efecto invernadero, la variación de dichas emisiones depende de la generación de contaminación y de la absorción de contaminación, de la forma:

$$\text{Contaminacion Emisiones GHG} = \text{Generación contaminación} - \text{Absorción contaminación}$$

La generación de contaminación depende de las emisiones per cápita y de las emisiones por vehículo. Se ha hecho esta distinción en función de la fuente generadora de emisiones para poder analizar a posteriori los efectos de, por ejemplo, la disminución del transporte

mediante turismos privados. Por otro lado, la absorción de contaminación depende de la tasa de absorción del sistema.

El balance de las emisiones contaminantes de gases de efecto invernadero se representa como toneladas de CO₂ equivalente, según los datos de las Cuentas de emisiones a la atmósfera (INE, 2020). No obstante, el total de las emisiones que se contabilizan se compone de diferentes sustancias contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), metano (CH₄), partículas PM_{2.5} y PM₁₀, compuestos orgánicos volátiles (COV), dióxido de carbono (CO₂), etc.

La contaminación debida a la producción y vertido de residuos, se ha modelado a partir de una variable de nivel, que es la Contaminación de Residuos, que recibe el flujo procedente de la Generación de residuos, calculada como los residuos per cápita por la población del área de estudio, del cual, una parte se destina a la Gestión de Residuos, determinada por la tasa de tratamiento de residuos, y otra parte, la constituyen los vertidos incontrolados al medio, dependiente de la tasa de vertido.

Contaminación Residuos

$$= \text{Generación de residuos} - \text{Gestión de residuos} - \text{Vertidos incontrolados}$$

En ambos casos, el cálculo parte de una cantidad de contaminación inicial, que se corresponde con los datos de contaminación en el año 2000.

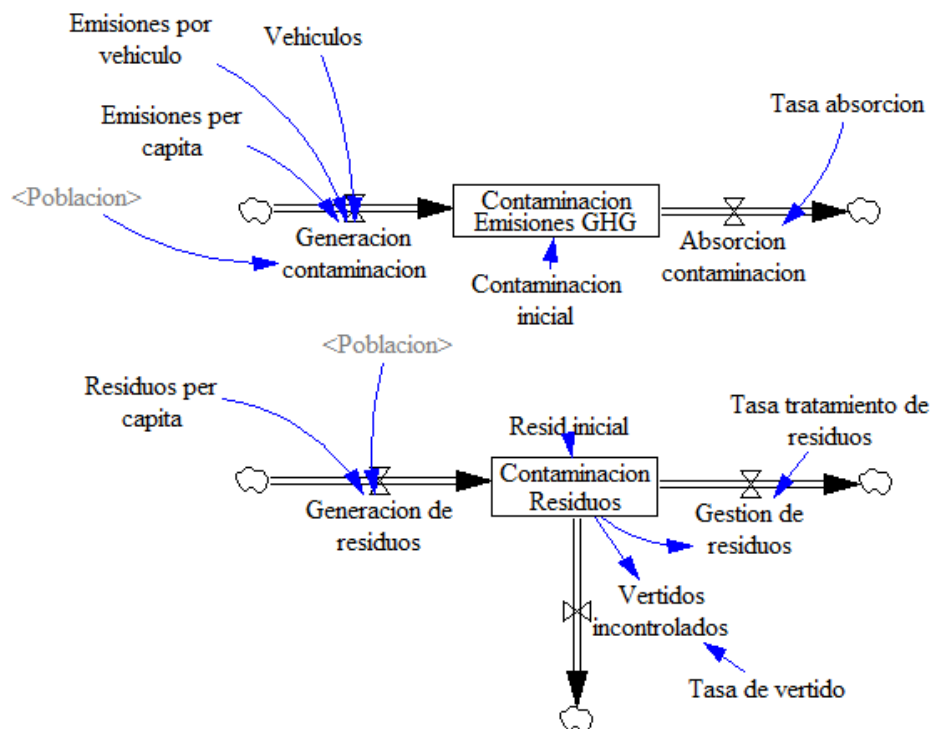


Ilustración 38. Sistema de Contaminación en Vensim.
 Fuente: elaboración propia, 2020.

Superficies

El área de estudio se compone de distintas categorías de superficie, en cuanto al análisis de las transformaciones del suelo de una categoría a otra, que marca la tendencia a la impermeabilización de la ciudad o a la integración de la infraestructura verde y de los ecosistemas en las ciudades.

Se ha desarrollado un sistema que establece las relaciones entre las áreas ocupadas por: ecosistemas, infraestructura verde y azul, superficie impermeabilizada y superficie libre. Cada una de estas tipologías de superficie se modelan como variables de nivel, que reciben flujos de entrada o salida que suponen un crecimiento de la superficie ocupada por cada una, o la degradación o transformación en otro tipo.

- La superficie ocupada por ecosistemas puede degradarse a superficie impermeable o superficie libre, mientras que crece por regeneración de la superficie libre.
- La superficie libre crece como consecuencia de la degradación de los ecosistemas y de la conversión de la superficie impermeable en libre. Por otro lado, la regeneración de la superficie libre en ecosistemas provoca su disminución.
- La superficie impermeable crece como consecuencia de la degradación de ecosistemas, y disminuye mediante la conversión de la superficie artificial en superficie libre e infraestructura verde y azul.
- La superficie libre se compone del área urbana impermeabilizada que se convierte a superficie libre y del área compuesta por ecosistemas que se degradan. Además, la superficie libre pierde extensión con la regeneración de los ecosistemas y el desarrollo de nueva infraestructura verde.

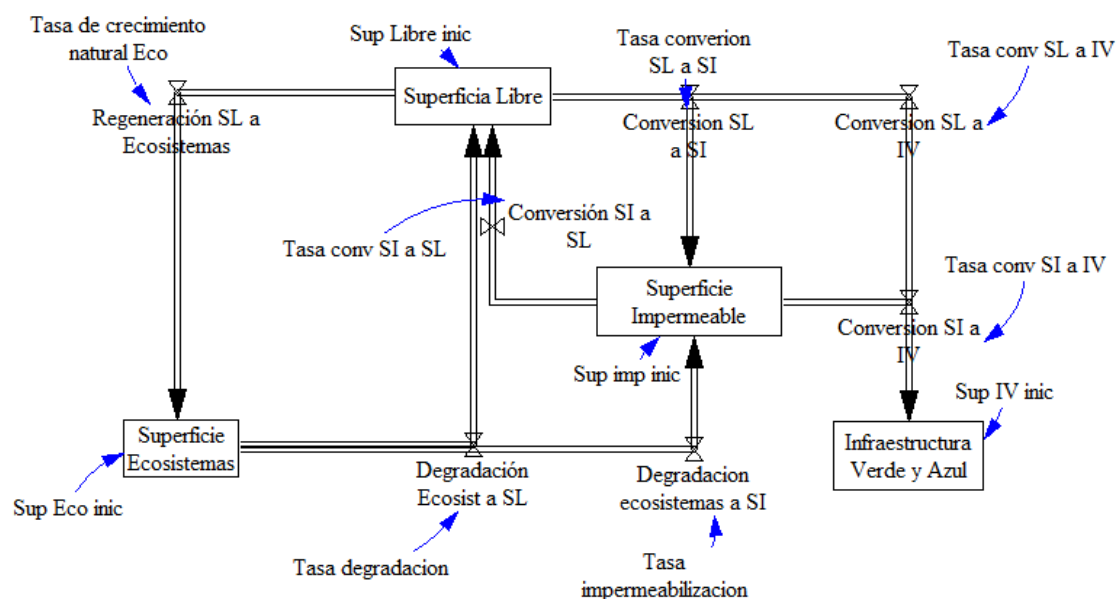


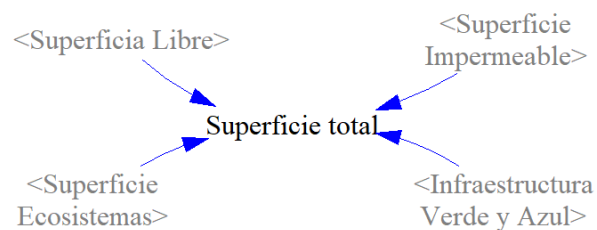
Ilustración 39. Diagrama de Forrester de la distribución de la superficie.
 Fuente: elaboración propia, 2020.

Como puede verse en la figura anterior, las transformaciones de un tipo de superficie a otra se rigen por tasas de conversión, degradación, impermeabilización, etc.

Se ha incluido la variable “Isla de calor”, dependiente de la “Superficie Impermeable”, y de la variable “Regulación térmica”, que representa la superficie artificializada afectada por dicho efecto, considerando que supone el 20% del total de la superficie impermeabilizada.

La “Tasa de degradación” de los ecosistemas se ha relacionado con una variable auxiliar “Tasa de erosión”, que depende a su vez, de la extensión de los diversos tipos de ecosistemas: bosques, cultivos, prados, etc.

Finalmente, se introduce en el modelo el cómputo de la suma de todas las tipologías de superficie definidas, observando que dicha suma debe ser la superficie total del área de estudio, la cual debe permanecer permanentemente constante.



*Ilustración 40. Diagrama del cómputo de la superficie total.
 Fuente: elaboración propia, 2020.*

Ecosistemas y servicios ecosistémicos

La superficie de ecosistemas que aparece en el diagrama de Forrester de la distribución de las superficies puede subdividirse en función de la tipología de ecosistema que la ocupa. Según el inventario de ecosistemas de la ciudad de Santander y el área de la Bahía, que se detalla en el apartado 2.3 “Caso de estudio”, los ecosistemas principales del área de estudio son:

- Bosques y matorrales
- Cultivos
- Ecosistemas costeros: playas, dunas y acantilados
- Aguas continentales, humedales y estuarios
- Prados y pastos

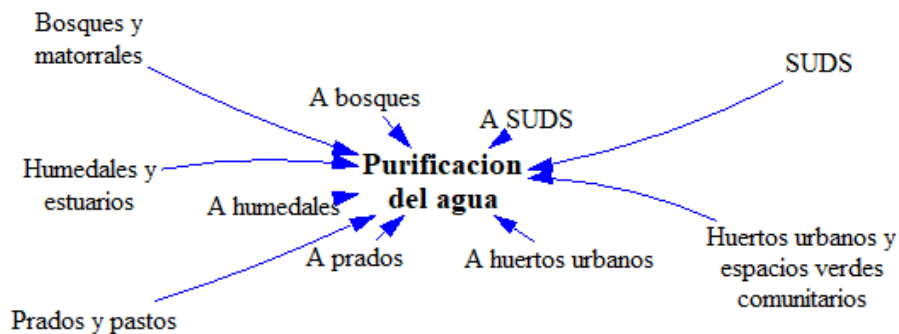
A su vez, la superficie ocupada por Infraestructura Verde y Azul se divide, en función de su tipología, en las siguientes categorías:

- Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible
- Huertos urbanos y espacios verdes comunitarios
- Áreas verdes urbanas
- Corredores verdes

Una vez definidos los tipos de ecosistemas e infraestructura verde presentes en el área de estudio e identificados los servicios ecosistémicos que estos ofrecen, se ha procedido a incluirlos en el modelo mediante variables auxiliares y parámetros que representan el valor del servicio ecosistémico por superficie al mes, para cada uno de ellos, según la base de datos TEEB (Van del Ploeg & de Groot, 2010).



*Ilustración 41. Diagrama representativo del servicio ecosistémico "Polinización".
 Fuente: elaboración propia, 2020.*



*Ilustración 42. Diagrama representativo del servicio ecosistémico "Purificación del agua".
 Fuente: elaboración propia, 2020.*

Economía

Por último, se incluye en el modelo la dimensión económica mediante la variable del Producto Interior Bruto (PIB), que es dependiente del PIB per cápita y la población de Santander. Además, el PIB se ve incrementado por la adición de los servicios ecosistémicos en términos de euros por unidad de superficie, obteniendo así, un indicador de bienestar o PIB ajustado. El PIB per cápita, por su parte, se ha relacionado con la tasa de empleo, de forma directamente proporcional.

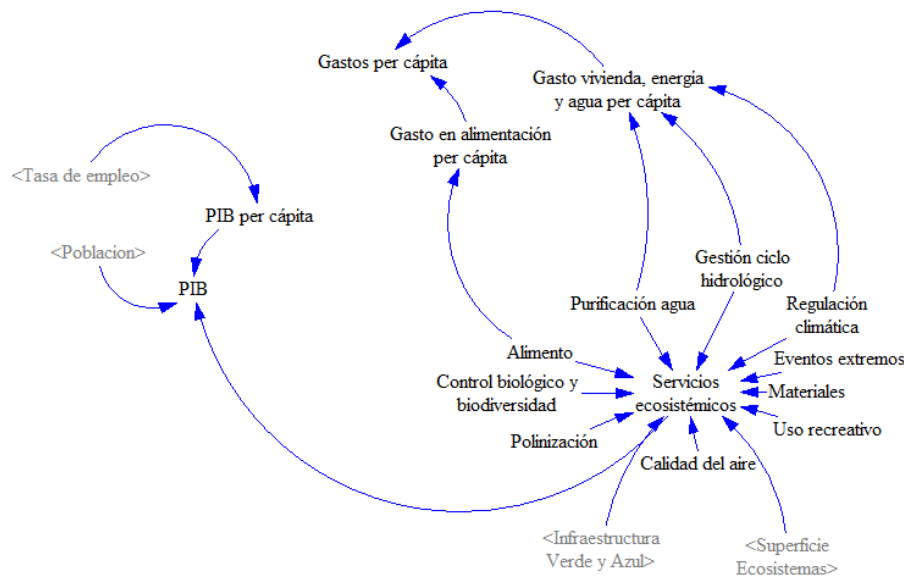


Ilustración 43. Diagrama causal representativo del ámbito económico.
Fuente: elaboración propia, 2020.

Se han introducido, también, las variables representativas del gasto per cápita en vivienda, energía, agua, etc. y en alimentación, para poder cuantificar la influencia del valor de los servicios ecosistémicos —siempre que este sea positivo— en la disminución del gasto per cápita.

Relaciones entre los sistemas

Por último, se han interrelacionado todos los sistemas del modelo, de modo que las variables de estado sean, a través del resto de variables, interdependientes entre sí.

A continuación, se detallan las variables empleadas para establecer las relaciones entre los diferentes subsistemas del modelo de la ciudad.

POBLACION + CONTAMINACIÓN

A través de la variable “Tasa enfermos por contaminación” se establece la relación entre las emisiones de sustancias contaminantes y la variación de la “Tasa de morbilidad hospitalaria” en Santander. Se pretende, con esta relación, analizar cómo el incremento o disminución de las emisiones contaminantes influye en la población.

El balance de las sustancias contaminantes emitidas a la atmósfera se calcula a partir del cómputo total de las distintas emisiones, como toneladas de CO₂ equivalente. No obstante, para establecer la relación que se aborda en este apartado, sólo algunas de las sustancias emitidas influyen en el estado de salud de las personas a escala local, como son los compuestos orgánicos volátiles (COV), las partículas PM_{2.5} Y PM₁₀, y los óxidos de nitrógeno y azufre (NO_x y SO_x). La variable visible del modelo es el total de las emisiones contaminantes, por lo que, en esta relación, constituye un proxy de los niveles de emisión de sustancias contaminantes perjudiciales para la salud de las personas.

POBLACION + SUPERFICIE ECOSISTEMAS + IV

Para establecer relaciones entre el desarrollo de población y el espacio destinado al crecimiento de los ecosistemas y la gestión de la infraestructura verde, se han implementado las siguientes variables:

- “Porcentaje de sedentarismo”, que se reduce al aumentar el área ocupada por infraestructura verde y ecosistemas. Como consecuencia de la variación del porcentaje de sedentarismo, la población sedentaria se reduce y, por tanto, la tasa de enfermedad debida al sedentarismo también disminuye, siendo el sedentarismo una de las causas subyacentes de la morbilidad hospitalaria, dicha tasa se modifica como consecuencia del incremento de las actividades físicas que se ven favorecidas por un incremento de los espacios verdes.
- Por otro lado, se ha establecido una variación de la “Población afectada por ruido” como consecuencia de la variación del área ocupada por ecosistemas e infraestructura verde.

CONTAMINACION + SUPERFICIE ECOSISTEMAS E IV

La influencia de los ecosistemas y de la infraestructura verde en la contaminación, se fundamenta en las siguientes relaciones:

- En primer lugar, se ha relacionado la capacidad de absorción de contaminación del medio con la extensión de la superficie de ecosistemas y de infraestructura verde, debido a la potencial capacidad de estos sistemas para actuar como sumideros de carbono.
- Por otro lado, se ha relacionado la producción de emisiones contaminantes emitidas por los vehículos con el desarrollo de la infraestructura verde, concretamente, de los corredores verdes. Se ha considerado para establecer dicha relación que los corredores verdes impulsan el incremento de otros tipos de desplazamientos menos contaminantes en las ciudades, como los desplazamientos a pie, en bicicleta, etc.
- La degradación de los ecosistemas se ha hecho dependiente de la contaminación, tanto las emisiones de GEI como de los vertidos incontrolados. Para establecer dicha dependencia, se ha relacionado la tasa de degradación de los ecosistemas con las emisiones de CO₂ equivalente, a través de una “Tasa factor de emisiones”, y con los vertidos incontrolados a través de una “Tasa factor de vertidos”.

SUPERFICIES + SERVICIOS ECOSISTEMAS

Uno de los fenómenos frecuentes en las ciudades modernas, derivado de la excesiva impermeabilización de las ciudades es el efecto “Isla de Calor”. Para poder observar la influencia de la recuperación de los espacios verdes en las ciudades en la ocurrencia de dicho fenómeno, se ha establecido una relación entre este y la variable “Regulación térmica”, dependiente del desarrollo de la infraestructura verde.

ECOSISTEMAS + PIB

Por último, se ha procedido a establecer las relaciones entre el PIB y el desarrollo de la infraestructura verde y los ecosistemas en la ciudad. Para ello, se han introducido al sistema las variables correspondientes a la inversión, tanto en el desarrollo de infraestructura verde como en la regeneración de ecosistemas. Estas inversiones se establecen como porcentajes del PIB.

Esta relación permite observar, una vez calibrado el modelo, la repercusión que la inversión en estos sistemas tiene en la población, en la contaminación, y en última instancia, en la economía de la ciudad.

El sistema final, una vez establecidas todas las relaciones necesarias se muestra en el **Anexo N°3**.

2.5.2 Calibración de parámetros

En este apartado metodológico se profundiza en la calibración de los parámetros del modelo de la ciudad de Santander. La calibración es el proceso que permite adaptar el modelo a la realidad que se pretende obtener en el modelo a través del ajuste de los valores de los parámetros, ya sea mediante el uso de datos reales o mediante técnicas de optimización (de uso habitual en modelos empíricos).

Los valores de los parámetros y variables, obtenidos tras la calibración del modelo, deben ser coherentes, de modo que el modelo no sólo tenga un valor predictivo para el conjunto de datos empleado en la calibración, sino que, además, presente capacidad explicativa y sea de aplicación extrapolable a otros supuestos.

2.5.2.1 Población

A continuación, se procede a detallar los valores de las variables del sistema “Población”, y las ecuaciones que definen su comportamiento.

- Población inicial año 2000: 184.264 habitantes (ICANE, 2020).
- Tasa de natalidad

Tasa de natalidad se ha obtenido del cómputo de la media de las tasas de natalidad desde el año 2000 hasta 2020), resultando un valor de 0,00753447 nacidos/habitante/año.

Puesto que se ha establecido una relación directa entre la variación de la tasa de empleo y de la tasa de natalidad, se ha realizado la calibración considerando que la tasa de natalidad se ve afectada por la tasa de empleo en un 30%.

$$Tasa\ natalidad = 0.005274129 + 0.0046759 * Tasa\ de\ empleo$$

- Tasa de mortalidad

Tasa de mortalidad es la media geométrica de las tasas de mortalidad desde el año 2000 hasta 2020, con un valor de 0,0101987 muertes/habitante/año. Se ha establecido una relación directa entre la tasa de morbilidad hospitalaria y la tasa de mortalidad, de modo que esta última depende en un 20% de la tasa de morbilidad.

$$Tasa\ mortalidad = 0.0081596 + 0.0105966 * Tasa\ de\ morbilidad$$

El valor medio del saldo variación residencial intercomunitaria por municipios es de 858 habitantes que emigran del municipio de Santander anualmente.

Bajo el supuesto de que el saldo de variación residencial se ve afectado por la población en riesgo de pobreza de forma directa y por la tasa de empleo de forma inversamente proporcional.

Saldo de variación residencial

$$= -214,5 - 0,0005 * Poblacion\ en\ riesgo\ de\ pobreza - 1245,64 * (1 - Tasa\ de\ empleo)$$

- Densidad poblacional

$$densidad\ poblacional = \frac{Población}{Superficie\ total}$$

- Población activa, población parada y empleada

$$Población\ activa = Tasa\ de\ actividad * Población$$

$$Población\ parada = Tasa\ de\ paro * Población\ activa$$

$$Población\ empleada = Tasa\ de\ empleo * Población\ activa$$

Según datos del Instituto Nacional de Estadística (2021), las tasas de actividad, paro y empleo en el área de estudio, considerando la media de los valores entre los años 2000-2020 son:

Tabla 8. Valores medios de las tasas de actividad, paro y empleo.

Tasa de actividad	0,5529
Tasa de paro	0,1177
Tasa de empleo	0,4834

Fuente: elaboración propia. Basado en datos del (INE, 2021).

En el modelo desarrollado se han establecido una serie de relaciones entre estas tasas y las variables que las afectan.

Se ha estimado que el sedentarismo influye en el crecimiento y decrecimiento de la actividad laboral, de forma que, con el incremento de la población sedentaria, disminuya la tasa de empleo y aumente la tasa de paro, proporcionalmente.

Tasa de paro

$$= (0,086216 + 0,021554 * 2,27273 * porcentaje\ sedentarismo) * (1/Políticas\ empleo)$$

Tasa de empleo

$$= (0,38672 + 0,09668 * 1,78571 * (1 - porcentaje\ sedentarismo)) * Políticas\ empleo$$

Además, estas tasas están afectadas por las pertinentes políticas de impulsión del empleo, de forma inversa y directa, respectivamente.

- Población en riesgo de pobreza

La tasa de población en riesgo de pobreza es, considerando la media geométrica de los valores proporcionados por el INE (2020) entre los años, 2008 y 2019, del 17,037%.

$$\begin{aligned} & \text{Población en riesgo de pobreza} \\ &= \text{Tasa de población en riesgo de pobreza} * \text{Población} \end{aligned}$$

Se ha establecido una relación inversa entre la tasa de empleo y la tasa de población en riesgo de pobreza, de modo que la tasa de empleo tenga una influencia del 70% en la tasa de población en riesgo de pobreza. Una vez calibrada esta variable, la ecuación que resulta es la siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{Tasa de pob en riesgo de pobreza} \\ &= 0,051111 + 0,230854 * (1 - \text{Tasa de empleo}) \end{aligned}$$

- Población enferma

$$\text{Población enferma} = \text{Población} * \text{Tasa de morbilidad hospitalaria}$$

$$\begin{aligned} & \text{Tasa de morbilidad hospitalaria} \\ &= \text{Tasa de morbilidad (sin efectos contaminación sedentarismo)} \\ &+ \text{Tasa enfermedad por sedentarismo} \\ &+ \text{Tasa enfermedad por contaminación} \end{aligned}$$

Tabla 9. Valores de las distintas tasas de morbilidad.

Tasa de morbilidad sin efectos contaminación ni sedentarismo	0,07779
Tasa de enfermedad por sedentarismo	0,2 * porcentaje sedentarismo
Tasa enfermedad por contaminación	2,16657e-08 * Contaminación Emisiones

Fuente: elaboración propia, 2021.

- Población sedentaria

$$\text{Población sedentaria} = \text{Población} * \text{porcentaje sedentarismo}$$

El porcentaje de población sedentaria de la población total es del 44% según datos de INE (2018). Se ha considerado que el porcentaje de sedentarismo presenta una dependencia inversa del 50% de su valor de la superficie total de ecosistemas e infraestructura verde y azul.

$$\begin{aligned} & \text{Porcentaje sedentarismo} \\ &= 0,22 + 1,74e + 08 * (1/(\text{Infraestructura Verde y Azul} \\ &+ \text{Superficie Ecosistemas})) \end{aligned}$$

- Población afectada por ruido:

$$\text{Población afectada por ruido} = \text{Tasa afección ruido} * \text{Población}$$

Tasa de afección ruido

$$= 0,1 - 1e - 12 * (Superficie Ecosistemas + Infraestructura Verde y Azul)$$

2.5.2.2 Contaminación

Los aportes de contaminación a la ciudad se han dividido en función de su tipología en emisiones de gases de efecto invernadero y residuos generados por otro lado.

Contaminación por emisiones Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Contaminación inicial: 6,68804 t CO₂ equivalentes / habitante * 184.264 habitantes = 1.409.258,065 toneladas de CO₂ equivalentes.

Tabla 10. Valores de emisiones y cantidad de vehículos.

Emisiones per cápita	6,68804 t CO₂ equivalente per cápita
Emisiones por vehículo	0,968267 t CO ₂ equivalente por vehículo
Vehículos	Población * vehículos per cápita
Vehículos per cápita	(0,6 * Políticas transporte) - 9e-10 * Corredores verdes

Fuente: elaboración propia. Basado en datos del INE.

Generación de contaminación

$$= Poblacion * Emisiones per capita + emisiones por veh * vehiculos$$

Absorción de contaminación

$$= 0,0006 * Superficie Ecosistemas + 0,0006 * Infraestructura Verde y Azul$$

Contaminación por residuos

Cantidad inicial de residuos: 98.599,67 toneladas

Tabla 11. Valores de las tasas de generación de residuos, de tratamiento de residuos y de vertido.

Residuos per cápita	535,1 kg/persona/año
Tasa de tratamiento de residuos	80%
Tasa de vertido	20% * Políticas vertidos

Fuente: elaboración propia, 2021.

$$Generación de residuos = Residuos per cápita * Población$$

Tratamiento de residuos

$$= Contaminación residuos * Tasa tratamiento de residuos$$

$$Vertidos incontrolados = Contaminación residuos * Tasa de vertido$$

2.5.2.3 Superficies

Puesto que el sistema que modela las distintas categorías de superficie que constituyen el área de estudio es un diagrama de Forrester, cada variable de nivel se calcula como la integración de los flujos que entran y salen de ella, según se indica a continuación.

- Superficie total máxima: $1,02969 \times 10^9 \text{ m}^2$.
- Superficie impermeable

Superficie impermeable

$$= \text{INTEG}(\text{Degradación Ecosist a SI} + \text{Conversión SL a SI} - \text{Conversión SI a IV} - \text{Conversión SI a SL}) * (1 - \text{Superficie Impermeable}/6,5e + 07)$$

Se ha establecido un límite al crecimiento de la superficie impermeable o artificial de $6,5 \times 10^7 \text{ m}^2$.

- Superficie libre

Superficie libre

$$= \text{INTEG}(\text{Conversión SI a SL} + \text{Degradación Eco a SL} - \text{Conversión SL a IV} - \text{Conversión SL a SI} - \text{Regeneración SL a Ecosistemas})$$

- Superficie de ecosistemas

Superficie ecosistemas

$$= \text{INTEG}(\text{Regeneración SL a Ecosistemas} - \text{Degradación Eco a SL} - \text{Degradación Ecosist a SI}) * (1 - \text{Superficie Ecosistemas}/1e + 09)$$

Se ha establecido un límite al crecimiento de los ecosistemas de $1 \times 10^9 \text{ m}^2$.

- Superficie de infraestructura verde y azul

Superficie IV

$$= \text{INTEG}(\text{Conversión SI a IV} + \text{Conversión SL a IV}) * (1 - \text{Infraestructura Verde y Azul}/2e + 07)$$

Se ha establecido un límite al crecimiento de la infraestructura verde y azul de $2 \times 10^7 \text{ m}^2$.

Las superficies iniciales son porcentajes de la superficie total del área de estudio. Dichos porcentajes son los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12. Tipologías de superficie en porcentaje del área de estudio.

Superficie impermeable inicial	3,0204 %
Superficie libre inicial	20 % *
Superficie de ecosistemas inicial	76,887 %
Superficie de IV inicial	0,0919 %

Fuente: elaboración propia, 2021. (Basado en datos del Corine Land Cover, 2018.)

*Se ha estimado que un 20 % de la superficie es superficie libre, considerando como tal aquella extensión no artificializada pero que no constituye un ecosistema como tal, ni presenta capacidad de producción de servicios ecosistémicos.

Tabla 13. Tasas de conversión de superficies.

Tasa de crecimiento natural ecosistemas	0,0005
Tasa de degradación ecosistemas	Tasa factor de emisiones + Tasa factor de vertidos + 0,025 * Tasa erosión
Tasa de impermeabilización ecosistemas	9×10^9 * Población
Tasa de conversión SI a SL	0,001
Tasa de conversión SL a SI	Tasa de impermeabilización
Tasa de conversión de SI a IV	3×10^{10} * Inversión en IV
Tasa de conversión de SL a IV	2×10^{11} * Inversión en IV
Tasa de erosión*	$0,9191 - 8 \times 10^{-10}$ * (Bosques y matorrales + Cultivos + Pastos y prados + Ecosistemas costeros)
Tasa factor de emisiones	IF THEN ELSE (Contaminación Emisiones=0, 0, Contaminación Emisiones/1 x 10 ⁹)
Tasa factor de residuos	IF THEN ELSE (Vertidos incontrolados=0, 0, Vertidos incontrolados/1 x 10 ¹⁰)

Fuente: elaboración propia, 2021.

*La tasa de erosión se ha establecido teniendo en cuenta que, según el Inventario Nacional de erosión de suelos (Ministerio de Medio Ambiente, 2004), la superficie erosionable constituye el 96,16% de la superficie de Cantabria. Si se desestimase el porcentaje de superficie susceptible de tener una erosión nula, y extrapolando este cálculo a la superficie de estudio, se podría considerar que la superficie de ecosistemas susceptible de erosión en Santander es del 91,91%, viéndose esta disminuida por el efecto preventivo de erosión que ejerce la restauración y conservación de ciertos ecosistemas.

Tabla 14. Superficies según cualificación de la erosión.

Cualificación de la erosión	Superficie geográfica	
	ha	%
Nula	22.620,39	4,25
Muy leve	35.961,88	6,76
Leve	127.124,30	23,89
Moderada-leve	11.849,46	2,23
Moderada-grave	142.104,09	26,70
Grave	68.995,12	12,97
Muy grave	103.038,28	19,36
SUPERFICIE EROSIONABLE	511.693,52	96,16
Láminas de agua superficiales y humedales	7.542,92	1,42
Superficies artificiales	12.902,91	2,42
TOTAL	532.139,35	100,00

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 2004)

- Isla de calor

$$\text{Isla de calor} = 0,2 * \text{Superficie Impermeable} - 0,001 * \text{Variación temperatura}$$

Variación de temperatura

$$= (14,5 + 1e - 09 * Superficie Impermeable) - tasa regulación térmica * (Superficie Ecosistemas + Infraestructura Verde y Azul)$$

Tabla 15. Tasa de regulación térmica.

Tasa de regulación térmica	9e-11
-----------------------------------	-------

Fuente: elaboración propia, 2021.

*La temperatura media anual de la ciudad de Santander es de 14,5 ° C.

Los diferentes tipos de ecosistemas son un porcentaje del total de ecosistemas del área de estudio. Dichos porcentajes son:

Tabla 16. Tipologías de ecosistemas presentes en el área de estudio en porcentaje del área total de ecosistemas.

ECOSISTEMAS	Porcentaje %
Bosques y matorrales	0,0014480
Cultivos	0,0280552
Ecosistemas costeros	0,8660047
Aguas continentales, humedales y estuarios	0,0201509
Pastos y prados	0,0834654

Fuente: elaboración propia, 2021. (Basado en datos del Corine Land Cover, 2018)

La superficie ocupada por la Infraestructura Verde se divide en las siguientes tipologías, repartidas equitativamente.

Tabla 17. Tipologías de infraestructura verde en el área de estudio como porcentaje de la infraestructura verde total.

SUDS	25%
Zonas Verdes Urbanas	25%
Huertos urbanos y espacios verdes comunitarios	25%
Corredores verdes	25%

Fuente: elaboración propia, 2021.

2.5.2.4 Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos que se han considerado en el modelo se han cuantificado económicamente mediante la base de datos “The TEEB Valuation Database” que proporciona estimaciones del valor de los servicios ecosistémicos (Van del Ploeg & de Groot, 2010).

Los valores de los servicios ecosistémicos relativos a cada ecosistema se pueden ver en el **Anexo N°2**.

En la siguiente tabla se muestran los servicios ecosistémicos que se han considerado, y los ecosistemas y elementos de la infraestructura verde que tienen una potencial capacidad de suministrarlos.

Tabla 18. Sistemas ecosistémicos y los ecosistemas que los proporcionan.

ECOSISTEMAS		SERVICIOS ECOSISTÉMICOS									
		Alimento	Materiales	Eventos extremos	Calidad del aire	Purificación del agua	Regulación climática	Gestión del ciclo hidrológico	Control biológico y biodiversidad	Polinización	Uso recreativo
	Bosques y matorrales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Cultivos	X	X		X	X	X	X	X	X	X
	Ecosistemas costeros	X		X	X			X	X		X
	Aguas cont., humedales y estuarios	X		X	X	X	X	X	X		X
	Prados y pastos	X	X		X	X	X	X	X	X	X
	INFRAESTRUCTURA VERDE										
	Zonas verdes urbanas			X	X	X	X	X	X	X	X
	SUDS			X		X	X	X	X		
	Huertos urbanos	X	X		X	X	X	X	X	X	X
	Corredores verdes			X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.5.2.5 *Economía*

- Función de bienestar

El indicador de bienestar económico, como se observa en la siguiente ecuación, se compone del cómputo del PIB directo, y de los beneficios económicos y ahorros derivados de los servicios ecosistémicos para las familias, en forma de renta implícita, etc. El indicador que se obtiene es, por lo tanto, un PIB ajustado por los servicios ecosistémicos que constituye una función de bienestar económico.

$$PIB\ ajustado = PIB\ per\ cápita * Población + Servicios\ Ecosistémicos$$

El PIB per cápita medio en el municipio de Santander, calculado a partir de los datos proporcionados por el ICANE, es de 15.717,44 euros por persona. Se ha considerado que existe una dependencia directa entre el PIB per cápita y la tasa de empleo. Bajo el supuesto de que el 2% del PIB per cápita depende de la tasa de empleo, la ecuación que define esta variable queda de la siguiente forma:

$$PIB\ per\ cápita = 15.403,1 + (650,285 * Tasa\ de\ empleo)$$

Los valores relativos a los gastos anuales per cápita se han obtenido de los datos de la Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF) (INE, 2019). Estos datos son 3829,54 euros/persona para el gasto en vivienda, energía y agua y de 1785,44 euros/persona para la alimentación, considerando la media de los valores para el período temporal 2006-2019.

Se ha considerado que el 10% del gasto en vivienda, energía y agua varía inversamente a los servicios ecosistémicos “Regulación climática”, “Purificación del agua” y “Gestión del ciclo hidrológico”.

$$\begin{aligned} &Gasto\ en\ vivienda, energía, agua\ per\ cápita \\ &= 3446,58 + 3,19357e19 \\ &* \left(\frac{1}{Regulación\ climática + Purificación\ agua + Gestion\ ciclo\ hidrológico} \right) \end{aligned}$$

Se ha considerado que el 20% del gasto en alimentación puede variar en función de la variable correspondiente al servicio ecosistémico “Alimentación”.

$$Gasto\ en\ alimentación\ per\ cápita = 1428,35 + 2,19e + 17 * (1/Alimento)$$

Los valores relativos a los gastos anuales per cápita se han obtenido de los datos de la Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF) (INE, 2019).

2.5.2.6 *Inversiones e implantación de políticas*

En este apartado se introducen y justifican las diferentes inversiones y políticas que se han implementado en el modelo de la ciudad de Santander, con el objetivo de analizar, posteriormente, su viabilidad y rentabilidad.

- **Inversiones en regeneración de ecosistemas y en infraestructura verde**

Según el “Resumen para responsables de formular políticas” de la Organización para las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2019), “una inversión ecológica de tan sólo el 2% del PIB mundial, sería capaz de generar un crecimiento a largo plazo en el período 2011-2050 tan alto como el que tendría lugar considerando un escenario optimista en el que no existiesen variaciones y que, al mismo tiempo, se produjese una reducción de los efectos negativos del cambio climático, la escasez de agua y la pérdida de ecosistemas y sus servicios”.

Realizando una extrapolación a el presente proyecto, se considerará la inversión de un 2% del PIB de Santander, repartida de forma equitativa en regeneración de ecosistemas e implantación de infraestructura verde y azul.

– **Políticas de reducción contaminación: emisiones**

Según la ONU, con el fin de regular el incremento de la temperatura por debajo de 2 grados Celsius, las emisiones de CO₂ deberán disminuir entre un 40 y un 70% entre 2010 y 2050, con la finalidad de ser cero con vistas a 2070 (Organización para las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019).

En esta simulación, se ha supuesto una reducción del 55% constante a lo largo del período de estudio.

– **Políticas de gestión de residuos: vertidos incontrolados**

Con la finalidad de reducir la contaminación por vertidos incontrolados de residuos altamente dañinos para los ecosistemas, especialmente, para las masas de agua se considerará en las modificaciones de la simulación un escenario en que el 100% de los residuos generados sean tratados, eliminando los vertidos incontrolados al medio.

– **Políticas empleo**

El octavo objetivo de la Agenda para el desarrollo sostenible 2030 es “Trabajo decente y crecimiento económico”, relacionado directamente con el ámbito laboral y económico, siendo sus metas principales la reducción de la tasa de desempleo, la mejora de las condiciones laborales y el aumentar la productividad laboral (Gobierno de España, 2020).

Se simulará, por tanto, un escenario en que, gracias a las políticas de fomento del empleo, la tasa de empleo se vea incrementada en un 10%.

– **Políticas de transporte**

La política común de transportes de la Unión Europea se fundamenta en unos principios generales entre los que se encuentra la persecución del modelo de “movilidad sostenible”, particularmente en el contexto de las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero del sector, que constituye una amenaza para los objetivos climáticos.

Los vehículos ligeros producen alrededor del 15% de las emisiones de CO₂ de la UE. Para la consecución de los objetivos del Acuerdo de París, es imprescindible la transformación del sector del transporte hacia la disminución de las emisiones. Según el Reglamento (UE) 2019/631 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de abril de

2019, por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de CO₂ de los turismos nuevos y de los vehículos comerciales ligeros nuevos, y por el que se derogan los Reglamentos (CE) n°. 443/2019 y (UE) n°. 510/2011, se establece como objetivo a escala del parque de la Unión, aplicable a partir del 1 de enero de 2020, de 95 g CO₂/km como promedio de emisiones de CO₂ de los turismos nuevos y un objetivo a escala del parque de la Unión de 147 g de CO₂/km como promedio de emisiones de CO₂ de los vehículos comerciales ligeros nuevos matriculados en la Unión, medidas hasta el 31 de diciembre de 2020.

En el citado reglamento se propone la reducción en un 37,5% las emisiones de CO₂ de los automóviles nuevos y un 31% las de las furgonetas en 2030 (Unión Europea, 2019).

3 Análisis de resultados

En este apartado se exponen los resultados obtenidos a partir del modelo para tres escenarios de simulación distintos, representativos de diferentes actuaciones en materia de inversión y políticas económicas, medioambientales y sociales. Los resultados obtenidos se representan, principalmente, en forma de gráficas que permiten observar la evolución de las diversas variables en el marco temporal establecido y comparar la progresión de los valores de los parámetros para los diversos escenarios representados.

3.1 Casos de estudio

Una vez elaborado el modelo de la ciudad de Santander y del área del fondo de la Bahía, se procede a analizar su comportamiento frente a diversos escenarios.

Se han estudiado tres casos distintos que representarán tres escenarios diferentes en cuanto a estrategias de inversión en restauración de ecosistemas e implementación de infraestructura verde, así como diversas políticas. A través de estos tres casos de estudio, se pretende observar las diferencias en la evolución de las dinámicas de la ciudad de Santander, frente a diversos tipos de actuación.

3.1.1 Caso primero: Inversión 0

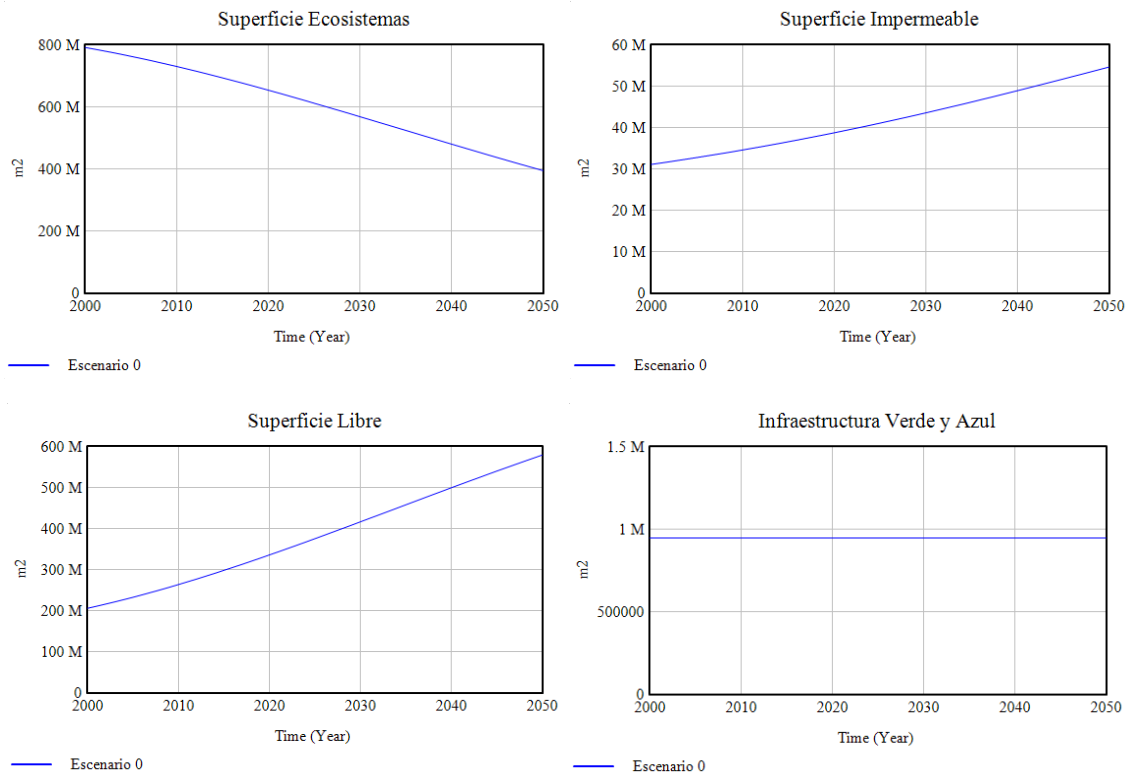
En el primer escenario se han simulado las dinámicas de la ciudad considerando que la inversión en la regeneración y conservación de ecosistemas y en desarrollo e implementación de infraestructura verde es nula.

Este escenario representa la situación más desfavorable y es previsible que las consecuencias sean negativas para el sistema.

Superficies

En primer lugar, podemos observar cómo, la nula inversión en la regeneración de los ecosistemas deja el crecimiento y mantenimiento de estos a merced de su propio crecimiento natural. Por otro lado, su degradación, sigue siendo dependiente de la tasa de impermeabilización, de los niveles de contaminación causados por las emisiones de gases de efecto invernadero y vertidos incontrolados de residuos, así como de las consecuencias de la erosión de las superficies naturales.

La superficie de la ciudad queda distribuida de la siguiente forma, según los resultados proporcionados por el modelo:



Gráfica 1.a) Superficie ecosistemas 1.b) Superficie impermeabilizada. 1.c) Superficie libre y 1.d) Infraestructura verde y azul para el escenario 0.

Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

En primer lugar, se observa que la superficie ocupada por los ecosistemas presenta una disminución influenciada por una tasa de degradación superior al crecimiento y regeneración natural de estos, ya que, como se puede ver más adelante, en la Gráfica 4.a, los niveles de contaminación sufren un incremento considerable y, por lo tanto, sus efectos negativos en los ecosistemas son proporcionales.

La superficie libre, constituida por todas aquellas extensiones que, no presentando signos de artificialización, tampoco reúne las características propias de un ecosistema ni posee la capacidad de funcionar como tal, proporcionando servicios ecosistémicos. En el gráfico que se muestra, puede observarse un aumento de la superficie de estas características a causa de la degradación de los ecosistemas debido a los efectos de la contaminación y de la erosión.

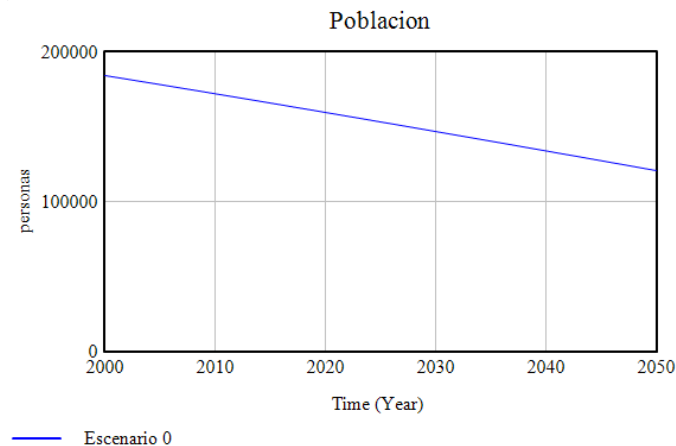
Por otro lado, se ha considerado que la infraestructura verde existente en Santander se mantiene constante, es decir, no presenta un crecimiento, pero tampoco un proceso de degradación ni de artificialización de estos espacios. Se supone que se realizan sobre estas áreas las pertinentes actividades de conservación y mantenimiento con el objeto de prevenir su desaparición.

Por último, la superficie impermeable experimenta una expansión de su superficie ocupada. Esto se debe a que, en este supuesto, el desarrollo de urbanístico de la ciudad se centra en proporcionar cabida a la población y dar solución a las problemáticas urbanas

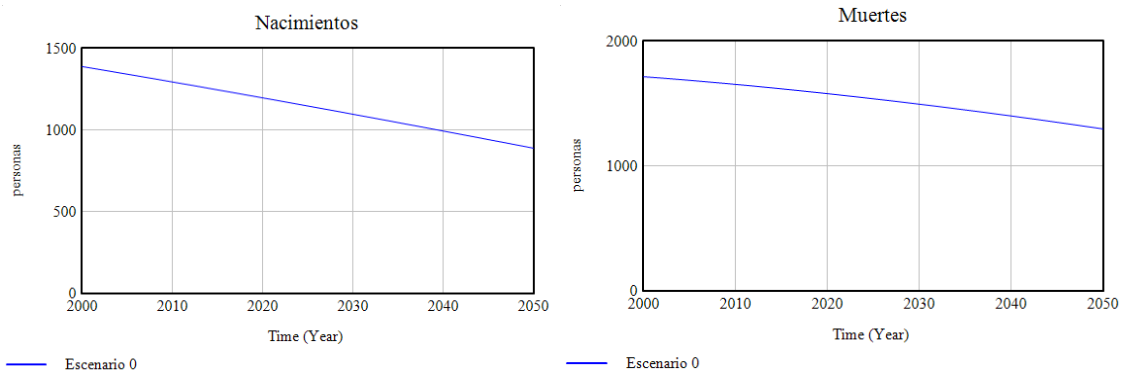
mediante la edificación y artificialización de terrenos que previamente eran ocupados por ecosistemas o superficies libres.

Población

Por otro lado, la población del área de estudio presenta la siguiente evolución.



Gráfica 2. Evolución de la población para el escenario 0.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

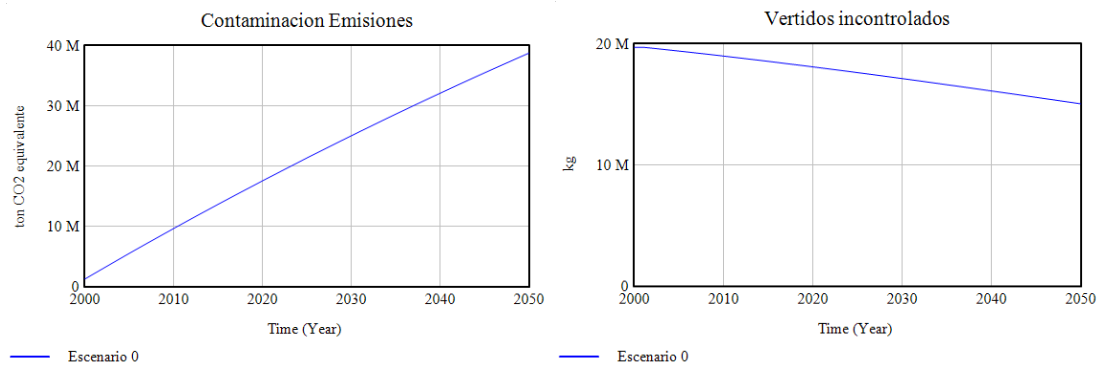


Gráfica 3.a) Evolución de nacimientos y 3.b) muertes en el escenario 0.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

La población presenta una tendencia decreciente, siendo la tasa de natalidad en Santander inferior a la tasa de mortalidad, dando lugar a una población considerablemente envejecida.

Contaminación

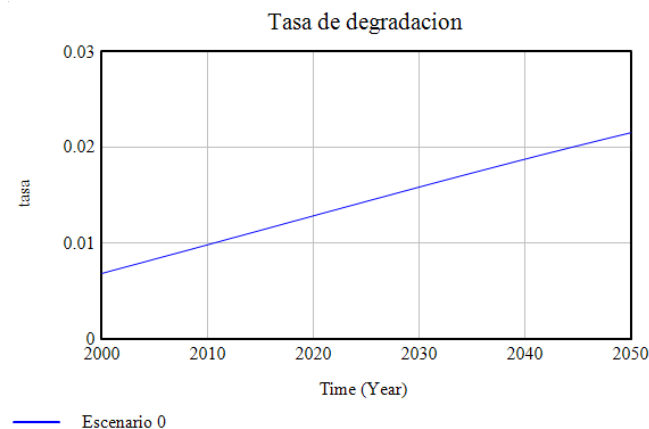
La contaminación por emisiones de gases de efecto invernadero, como puede observarse en el siguiente gráfico, manifiesta una acumulación, cada vez mayor de contaminantes atmosféricos. Esto es debido a que, el sistema carece de capacidad suficiente de absorción de dichos contaminantes por parte de los ecosistemas al tiempo que las tasas de generación de emisiones contaminantes continua en niveles muy elevados.



Gráfica 4.a) Evolución de las emisiones de CO₂ equivalente y 4.b) Evolución de vertidos incontrolados para el escenario 0.

Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Por otro lado, los vertidos incontrolados disminuyen únicamente debido a la disminución de la población al ser calculados a partir de la tasa de generación de residuos per cápita.



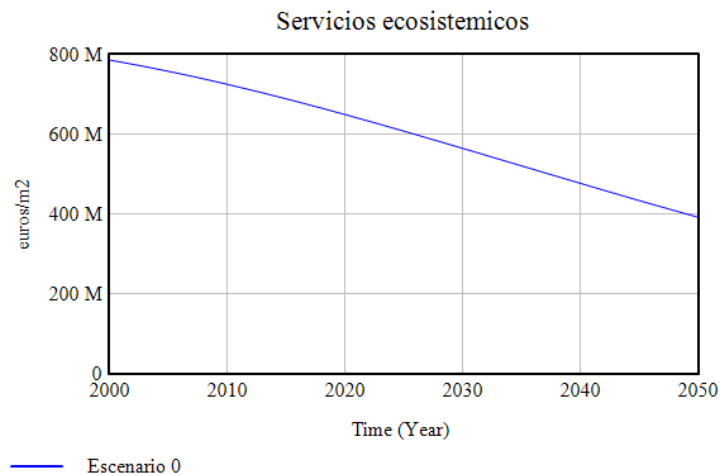
Gráfica 5. Representación de la evolución de la tasa de degradación de ecosistemas para el escenario 0.

Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

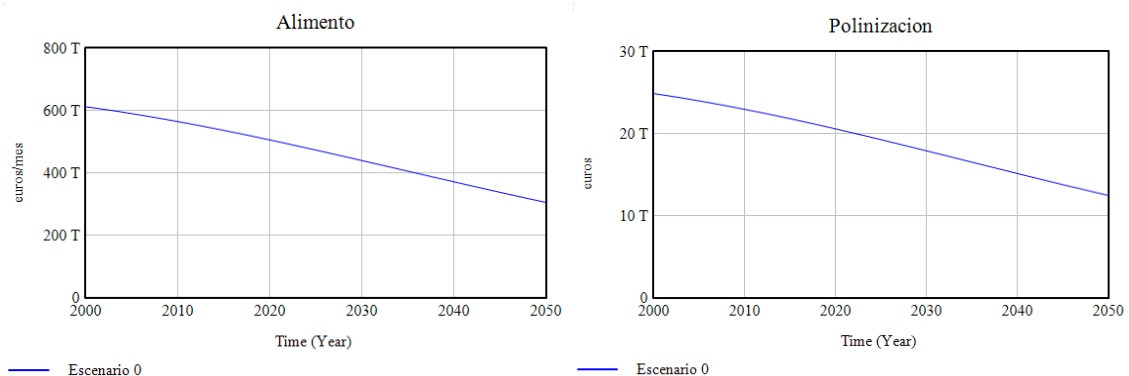
Como consecuencia de los altos valores de contaminación la tasa de degradación se incrementa en 50 años hasta duplicar su valor inicial.

Servicios ecosistémicos

En este primer escenario de simulación, los servicios ecosistémicos dependen fundamentalmente de la superficie destinada a los ecosistemas, ya que la presencia de infraestructura verde y azul es ínfima. Es por ello por lo que, como se observa en la Gráfica 6, la producción de servicios ecosistémicos disminuye al tiempo que lo hacen los ecosistemas generadores.



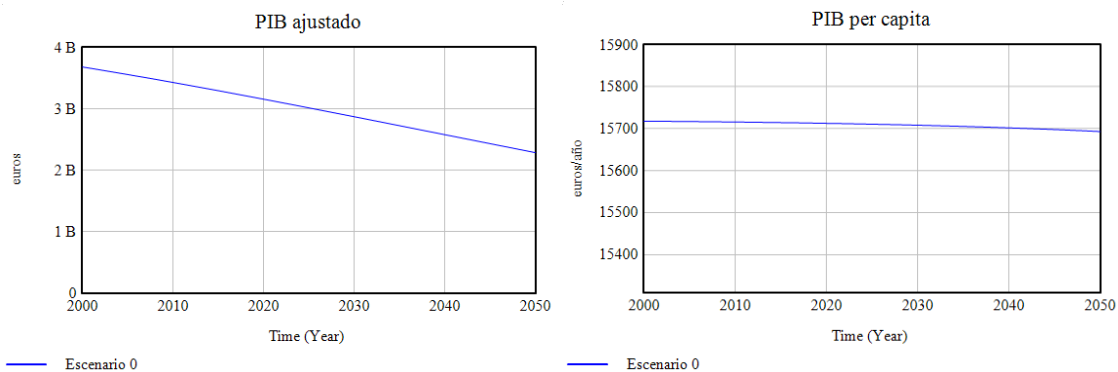
Gráfica 6. Representación de la evolución de la producción de servicios ecosistémicos en el escenario 0.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.



Gráfica 7.a) Evolución del servicio ecosistémico "Alimento" y 7.b) Evolución del servicio ecosistémico "Polinización" para el escenario 0.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Economía

EL PIB ajustado, calculado como el producto del PIB per cápita y la población, presenta una tendencia decreciente, por un lado consecuencia de la disminución de la población del área de estudio, y por otro, por la disminución del PIB per cápita debida a la correlación establecida entre el PIB per cápita y la tasa de empleo, que a su vez, se ve ligeramente perjudicada por las consecuencias de un estilo de vida predominantemente sedentario de la población, motivado por la desaparición de espacios naturales para uso recreativo, así como la deficiente generación de empleo que surge en torno a las infraestructuras verdes y ecosistemas bien conservados.

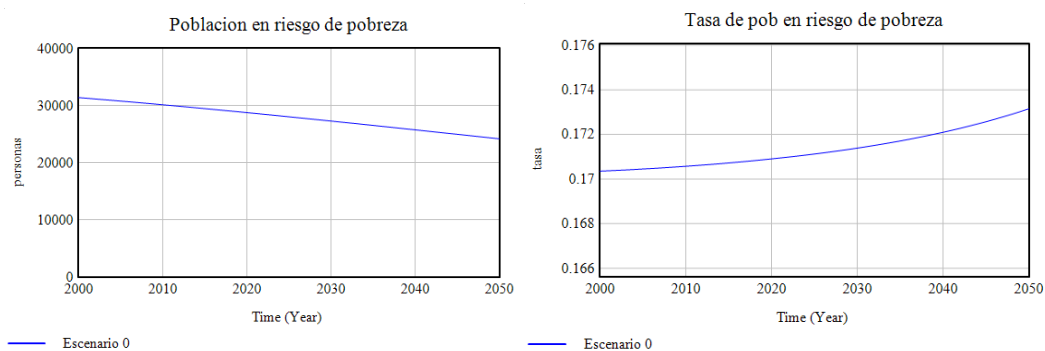


Gráfica 8.a) Evolución del PIB ajustado y 8.b) Evolución del PIB per cápita en el escenario 0.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Indicadores calidad de vida

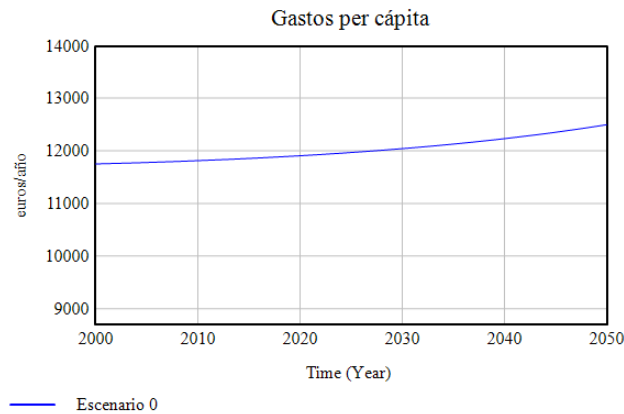
• Dimensión 1: Condiciones materiales de vida

La población en riesgo de pobreza se cifra en torno a los 30.000 habitantes en el área de estudio. La disminución que se aprecia en el gráfico de cara a 2050 es debida a la disminución de la población total de Santander. No obstante, puesto que se ha correlacionado de forma inversa la tasa de población en riesgo de pobreza con la tasa de empleo, su tendencia es creciente, motivando a su vez, que el saldo de migración interno del municipio de Santander sea cada vez más negativo, representando otra vía de pérdida de población.



Gráfica 9.a) Evolución de la población en riesgo de pobreza y 9.b) Evolución de la tasa de población en riesgo de pobreza para el escenario 0.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

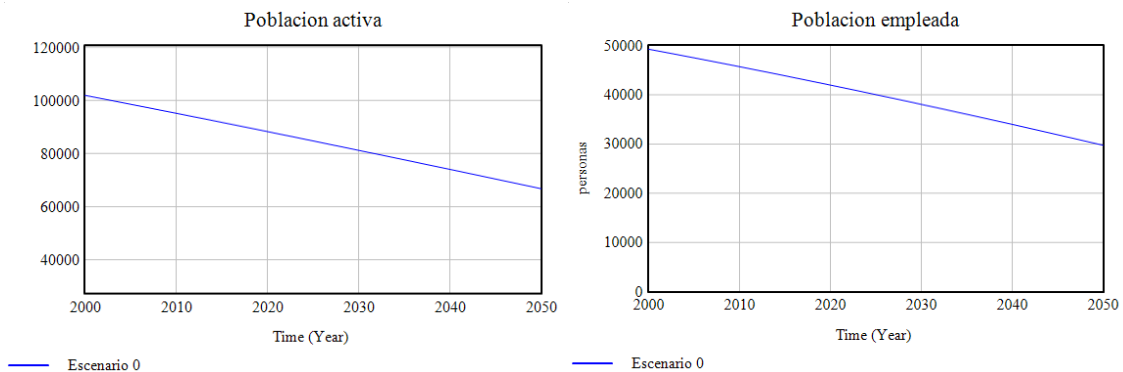
Otro de los indicadores de calidad de vida que se incluyen en la primera dimensión, hace referencia a los gastos que debe hacer frente cada individuo. Puesto que se ha supuesto que determinados servicios ecosistémicos contribuyen a la reducción de gastos derivados del consumo en algunos sectores como la alimentación o la energía, la vivienda o el agua, a menor oferta de servicios ecosistémicos, mayor es el gasto y menor las fracciones de estos sectores de consumo que pueden cubrirse a través de los servicios ecosistémicos que nos proporcionan los ecosistemas de la ciudad.



Gráfica 10. Evolución de los gastos per cápita anuales para el escenario 0.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

• Dimensión 2: Trabajo

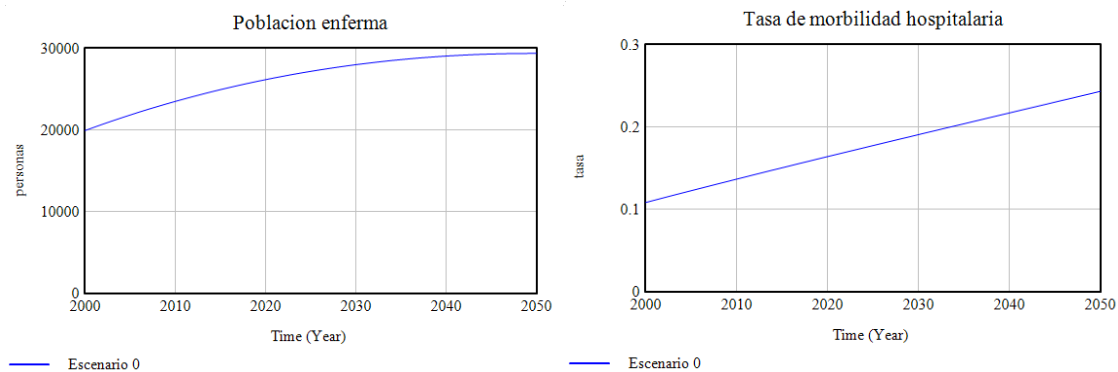
La población con empleo presenta una tendencia decreciente cuyas causas son la disminución de la población y, por tanto, de la población activa y, por otro lado, la disminución de la tasa de empleo como consecuencia del incremento del estilo de vida sedentario motivado por la desaparición de espacios naturales destinados al ocio, recreo y desarrollo de actividades deportivas, así como la deficiente creación de puestos de empleo en torno a estos espacios y sus actividades.



Gráfica 11.a) Evolución de la población activa y 11.b) Evolución de la población empleada para el escenario 0.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

• Dimensión 3: Salud

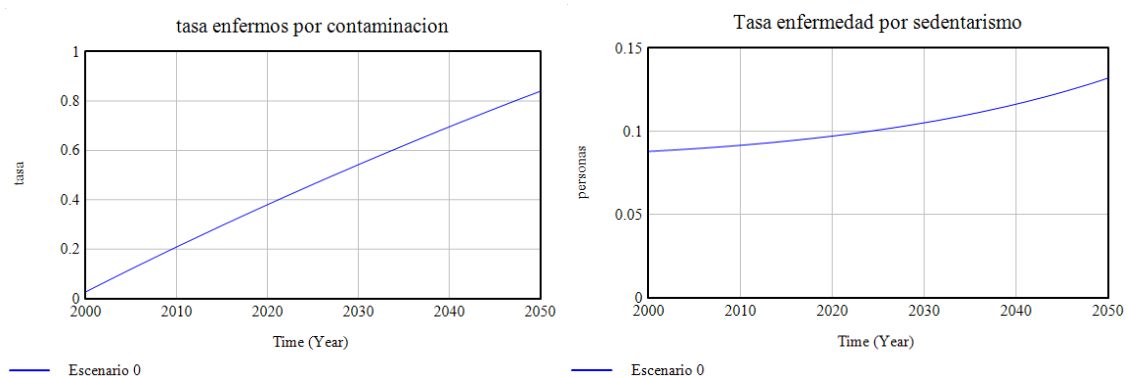
La evolución de la población enferma en el área de estudio, según se muestra en la Gráfica 12.a, presenta un carácter muy negativo, puesto que la tasa de morbilidad hospitalaria se incrementa, llegando a alcanzar valores que duplican la tasa inicial.



Gráfica 12.a) Evolución de la población enferma y 12.b) Evolución de la tasa de morbilidad hospitalaria para el escenario 0.

Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Este efecto es debido a que el incremento de la tasa de enfermos por contaminación es muy acusado, como se observa en la Gráfica 13.a, según la cual, en 2050, el 77,03% de la población del área analizada, presentaría problemas de salud de distinta gravedad, debido a los excesivos niveles de contaminación. Por otra parte, un incremento de la población sedentaria elevaría, también, la tasa de enfermedad por sedentarismo, como consecuencia de la desaparición de las actividades físicas y deportivas desarrolladas en los espacios naturales y al aire libre.

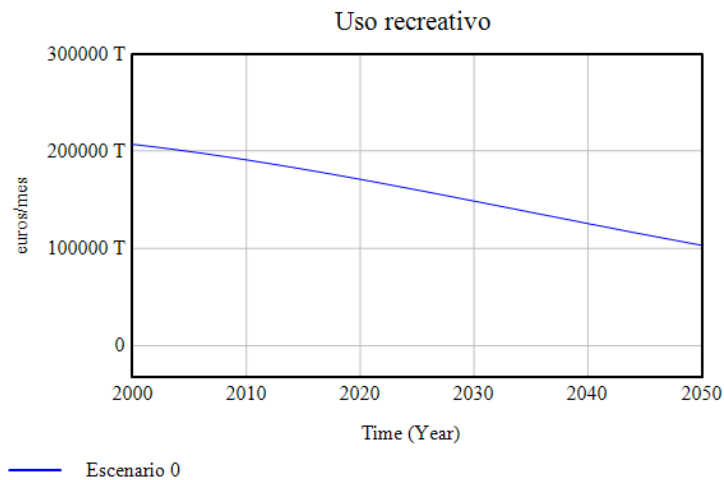


Gráfica 13.a) Evolución de la tasa de enfermos por contaminación y 13.b) Evolución de la tasa de enfermedad por sedentarismo para el escenario 0.

Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

• Dimensión 5: Ocio y relaciones sociales

Como indicador de la influencia de la degradación de los ecosistemas en el ocio y las relaciones sociales, se ha seleccionado el servicio ecosistémico “Uso recreativo”, que representa como disminuyen las actividades relacionadas con el ocio y las actividades recreativas, así como su economía asociada, al disminuir los espacios destinados al desarrollo de las relaciones sociales.



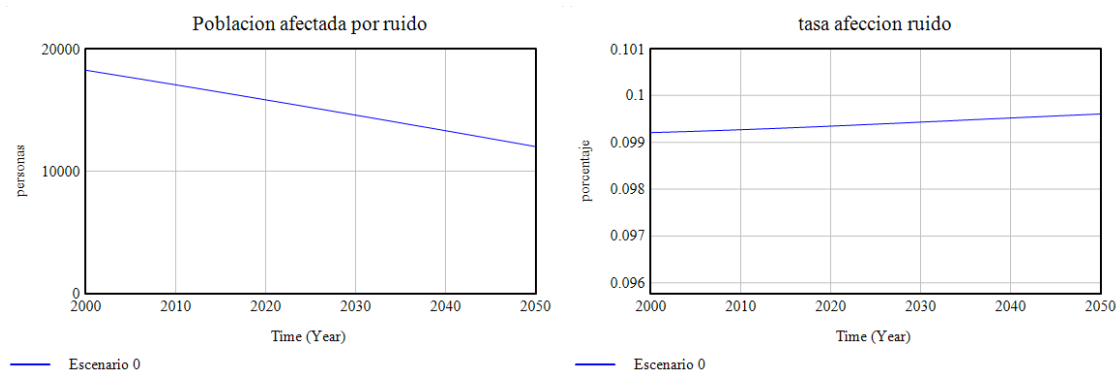
Gráfica 14. Evolución del servicio ecosistémico "Uso recreativo" para el escenario 0.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

• Dimensión 8: Entorno y medioambiente

La degradación de los ecosistemas constituye, en sí misma, un factor de afección a la calidad de vida, concretamente a la octava dimensión “Entorno y medioambiente”.

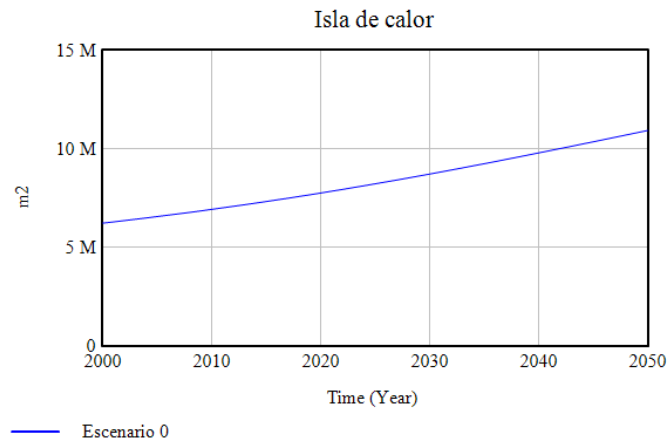
No obstante, se han incluido en el modelo otros indicadores adicionales de la calidad de vida relativos a esta dimensión: la afección por ruido y el efecto “isla de calor”.

La tasa de afección por ruido se incrementa, debido a la mayor artificialización de la ciudad y la pérdida de parches de vegetación y entornos naturales que constituyan barreras de sonido.



Gráfica 15.a) Evolución de la población afectada por ruido y 15.b) Evolución de la tasa de afección por ruido para el escenario 0.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Por otro lado, la porción de superficie impermeable afectada por el efecto isla de calor se incrementa como consecuencia de la creciente artificialización de las superficies y de la deficiente capacidad de regulación térmica de los espacios verdes urbanos existentes.



Gráfica 16. Evolución de la superficie afectada por el efecto isla de calor para el escenario 0.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

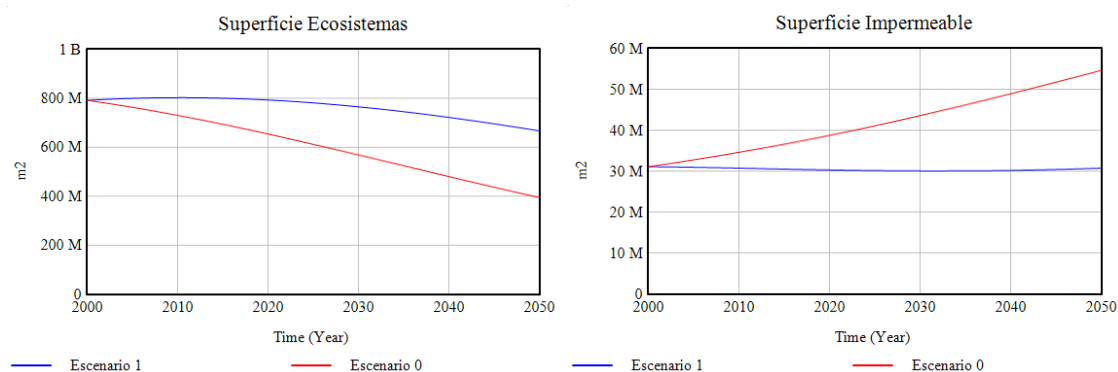
3.1.2 Caso segundo: Inversión positiva

En este segundo escenario, se supone una inversión en la restauración y conservación de ecosistemas y fomento de la infraestructura verde y azul en el área de estudio.

Se ha considerado una inversión de un 2% del PIB de Santander, tanto en la regeneración de ecosistemas como en diseño e implantación de infraestructura verde para crear una ciudad resiliente y capaz de hacer frente a los efectos del cambio climático.

Superficies

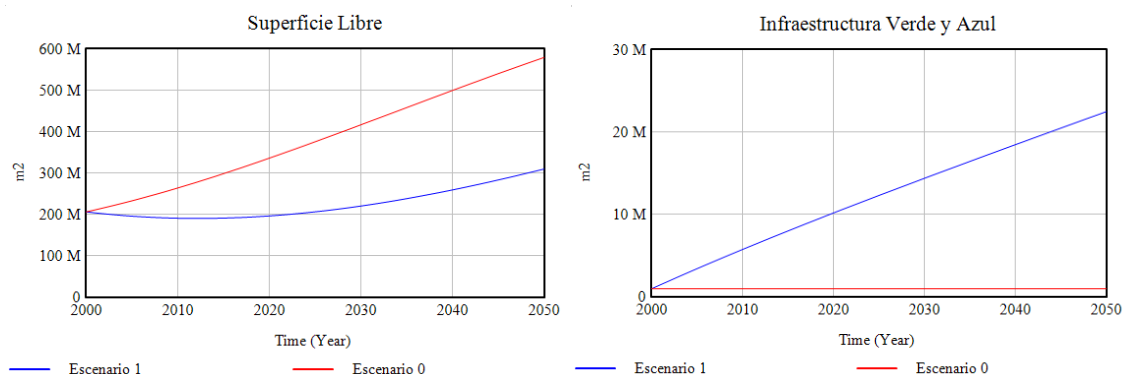
En primer lugar, se observa una redistribución de las superficies del área analizada. La superficie ocupada por los ecosistemas presenta ahora una degradación más lenta, al tiempo que la superficie libre disminuye, pues parte de esta superficie se regenera para constituir ecosistemas y otra parte se destina a la construcción de infraestructura verde.



Gráfica 17.a) Evolución de la superficie de ecosistemas y 17.b) Superficie impermeabilizada para los escenarios 0 y 1.

Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Por otra parte, como consecuencia de la implantación de infraestructura verde en la ciudad, el crecimiento de la superficie impermeable se ralentiza, manteniéndose prácticamente constante.

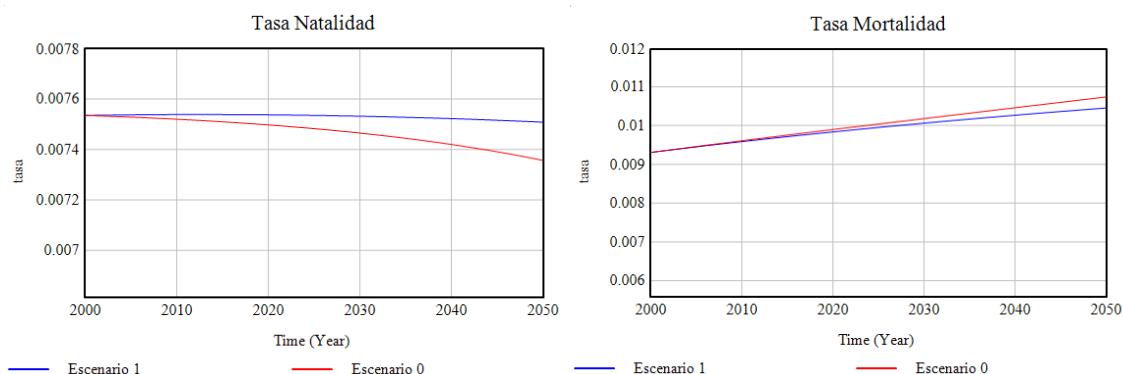


Gráfica 18.a) Evolución de la superficie libre y 18.b) Evolución de la Infraestructura verde y azul para los escenarios 0 y 1.

Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Población

Los cambios en la población son debidos a las leves variaciones de las tasas de natalidad y mortalidad. Por un lado, la tasa de natalidad se incrementa ligeramente, debido al leve incremento de la tasa de empleo, que se ha supuesto como un factor decisivo en el impulso de la natalidad. Por otro lado, la tasa de mortalidad toma unos valores inferiores debido al descenso del porcentaje de población sedentaria, que se traduce en un ligero descenso de la tasa de morbilidad hospitalaria, afectada también por el descenso de la tasa de enfermedad por contaminación.



Gráfica 19.a) Evolución de la tasa de natalidad y 19.b) Evolución de la tasa de mortalidad para los escenarios 0 y 1.

Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

En cifras, estas variaciones en las tasas de natalidad y mortalidad suponen que para el año 2021, en el escenario 0 se registran 1192 nacimientos, mientras que, en el escenario 1, 1194. Para 2050, se registrarían, 913 nacimientos para el escenario 0, y 922, para el escenario 1.

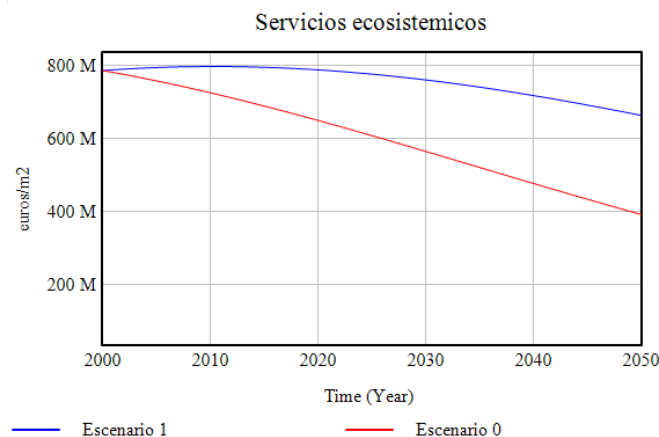
En el caso de las muertes anuales, para el año 2050, las simulaciones de los escenarios 0 y 1 proporcionan 1285 y 1279 muertes respectivamente.

Servicios ecosistémicos

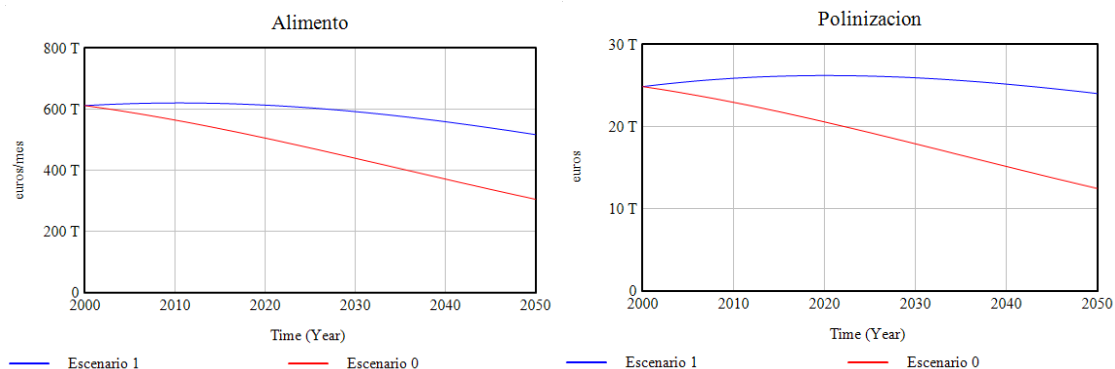
La variación de los servicios ecosistémicos depende, al igual que el escenario 0, fundamentalmente de la extensión del área de estudio ocupada por ecosistemas. La

infraestructura verde, pese a constituir una fuente de generación de los servicios ecosistémicos, ocupa una superficie mucho menor, al verse condicionada en mayor medida por la extensión de superficie urbana artificializada.

Como puede observarse en la siguiente gráfica, el valor de los servicios ecosistémicos generados es considerablemente superior que en el caso anterior. No obstante, puede apreciarse que, debido a que los ecosistemas siguen presentando una tendencia a su desaparición, los servicios ecosistémicos proporcionados por estos muestran una disminución proporcional, que la inversión en infraestructura verde y azul no es capaz de compensar.



Gráfica 20. Evolución de la producción de servicios ecosistémicos para los escenarios 0 y 1.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.



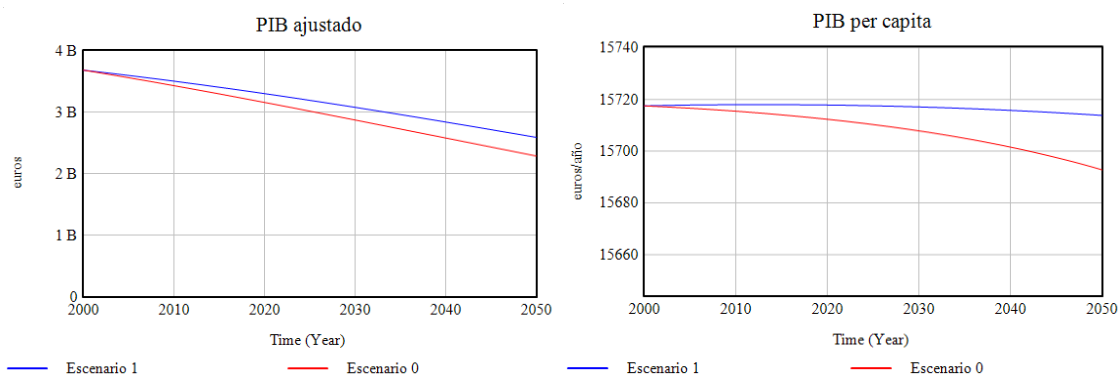
Gráfica 21.a) Evolución del servicio ecosistémico "Alimento" y 21.b) Evolución del servicio ecosistémico "Polinización" para los escenarios 0 y 1.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Como se observa en los gráficos anteriores, algunos de los servicios ecosistémicos, como en el caso de la polinización, la inversión en la conservación y restauración de los ecosistemas y en infraestructura verde, permite mantener unos valores considerablemente superiores respecto al escenario 0.

Economía

Los principales indicadores económicos, el PIB y el PIB per cápita, cambian ligeramente su tendencia respecto al escenario anterior. En el caso del PIB, se incrementa su valor

respecto a la situación más desfavorable, pero mantiene su tendencia decreciente, justificada en parte, por la desaparición de gran parte de la población. El incremento de la producción de servicios ecosistémicos es una de las principales causas de la variación del PIB, junto con el incremento del PIB per cápita.

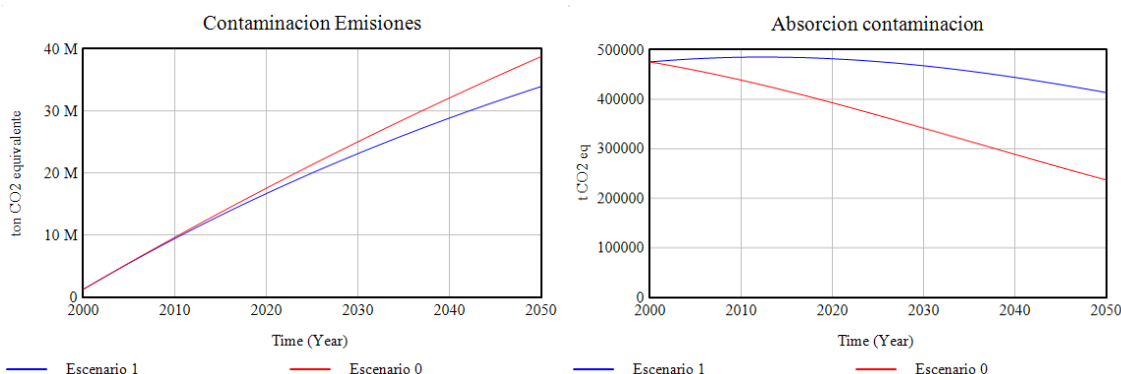


Gráfica 22.a) Evolución del PIB ajustado y 22.b) Evolución del PIB per cápita para los escenarios 0 y 1.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

El PIB per cápita presenta, para el escenario actual, un decrecimiento mucho más moderado, manteniéndose prácticamente constante en el marco temporal estudiado. Este crecimiento del PIB per cápita es consecuencia del incremento de la tasa de empleo.

Contaminación

Los niveles de contaminación, concretamente de contaminación por emisiones de GEI, presentan una disminución en el nuevo escenario, debido al incremento de la capacidad de los ecosistemas de actuar como sumideros de carbono. No obstante, pese al incremento de la capacidad de absorción de contaminación de los ecosistemas, los niveles de generación de contaminación siguen manteniéndose excesivamente altos, lo que imposibilita la consecución de un estado de equilibrio entre la generación y absorción de contaminación atmosférica.

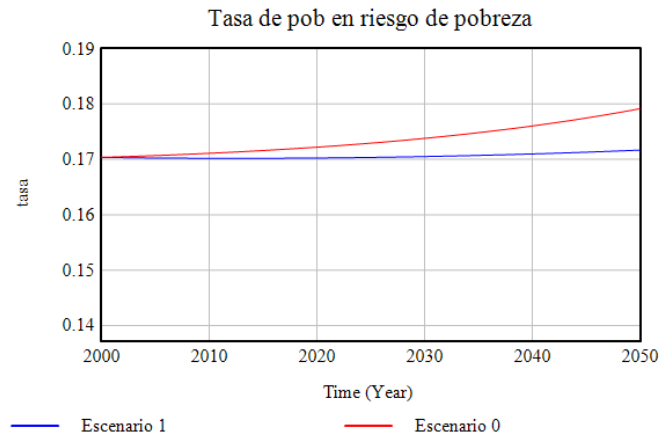


Gráfica 23.a) Evolución de la contaminación por emisiones de CO₂ equivalente y 23.b) Evolución de la capacidad de absorción de contaminantes del medio para los escenarios 0 y 1.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Indicadores calidad de vida

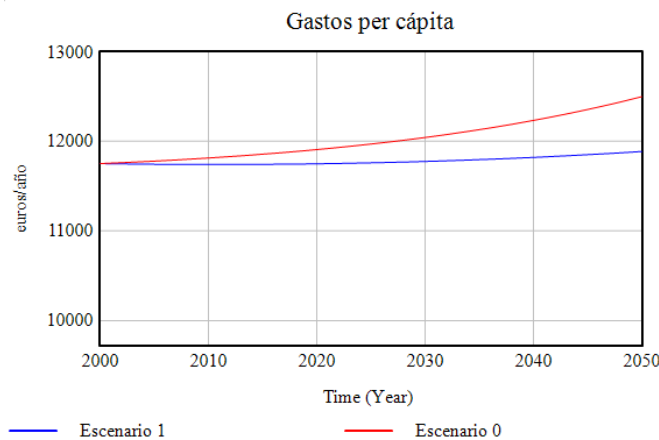
- **Dimensión 1: Condiciones materiales de vida**

En cuanto a las condiciones materiales de vida, puede observarse una disminución en el crecimiento de la tasa de población en riesgo de pobreza, consecuencia del fomento del empleo.



Gráfica 24. Evolución de la tasa de población en riesgo de pobreza para los escenarios 0 y 1.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Por otro lado, los gastos muestran un crecimiento considerablemente menor que en el caso anterior, debido al incremento de la oferta de servicios ecosistémicos.



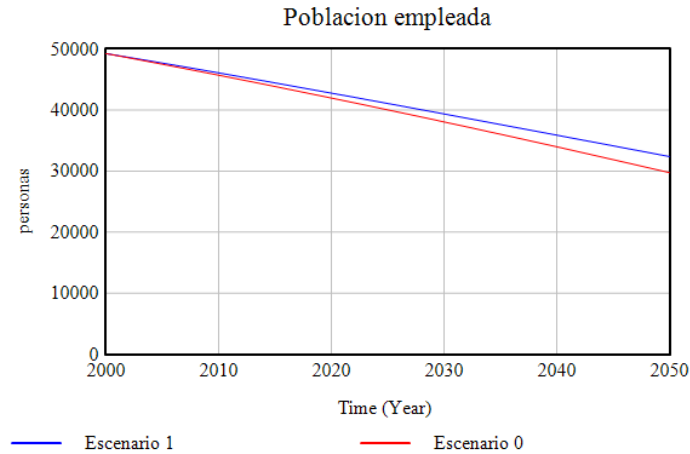
Gráfica 25. Evolución de los gastos per cápita anuales para los escenarios 0 y 1.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

• Dimensión 2: Trabajo

La población empleada se incrementa como consecuencia del impulso de actividad laboral en torno a los nuevos espacios que surgen en la ciudad a raíz de la incursión de las infraestructuras verdes en el entorno urbano, así como de la conservación y regeneración de los espacios naturales del área estudiada, y el crecimiento de sus actividades asociadas.

Además, se ha considerado que un incremento de la actividad física, motivada por una mayor disposición de espacios naturales para la realización de actividades sociales y de

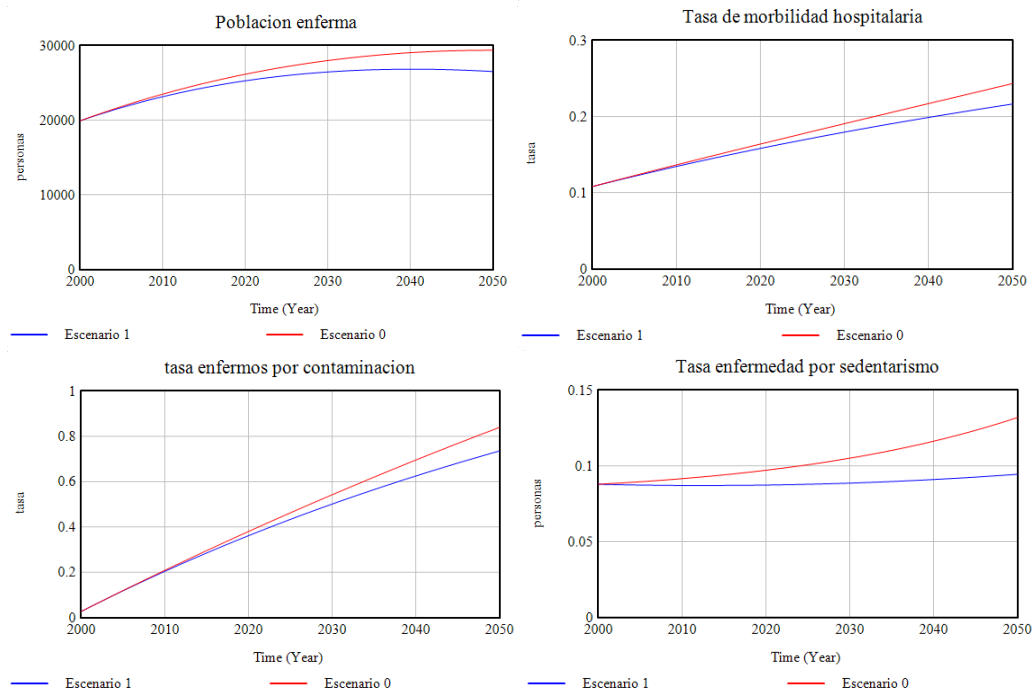
recreo, supone una mejora del estado de salud de determinados sectores de la población, que podría inducir al incremento de la actividad laboral.



Gráfica 26. Evolución de la población empleada para los escenarios 0 y 1.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

• Dimensión 3: Salud

Como se menciona en la dimensión anterior, se pueden observar los efectos positivos en la salud de la población que conlleva la disposición de espacios naturales en los entornos urbanos y sus proximidades, entre los que se encuentran la reducción del estilo de vida sedentario en parte de la población, y una ligera disminución de la cantidad de población afectada por los efectos de la contaminación.

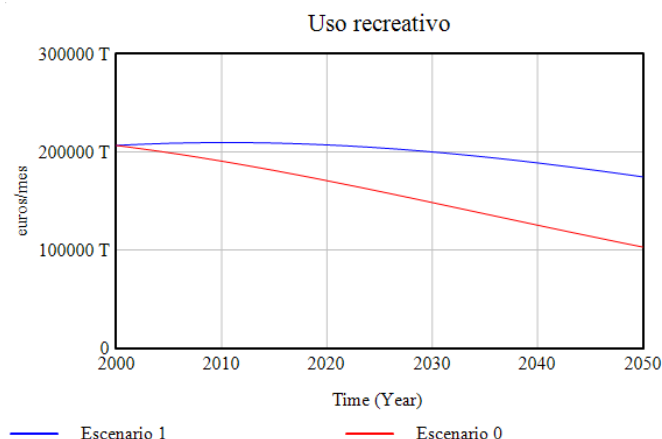


Gráfica 27.a) Evolución de la población enferma, 27.b) Evolución de la tasa de morbilidad hospitalaria, 27.c) Evolución de la tasa de enfermos por contaminación y 27.d) Evolución de la tasa de enfermedad por sedentarismo para los escenarios 0 y 1.

Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

- **Dimensión 5: Ocio y relaciones sociales**

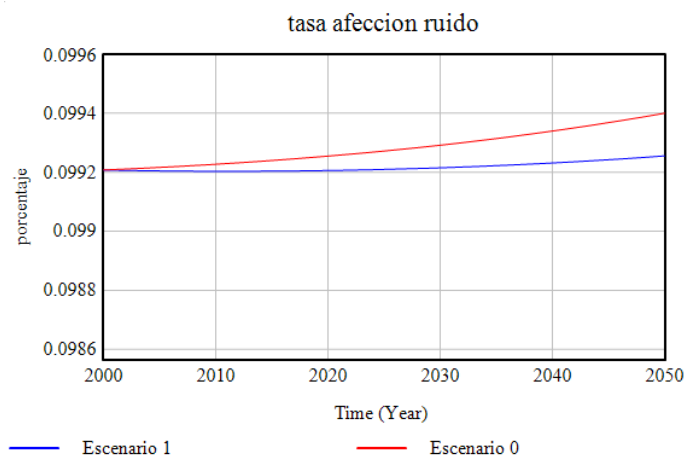
El servicio ecosistémico relativo al uso recreativo de los ecosistemas y espacios verdes presenta una evolución proporcional al incremento de las superficies ocupadas por ecosistemas e infraestructura verde y azul. Como puede observarse en la Gráfica 28, esta progresión presenta valores superiores a los del escenario 0.



Gráfica 28. Evolución del servicio ecosistémico "Uso recreativo" para los escenarios 0 y 1.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

- **Dimensión 8: Entorno y medioambiente**

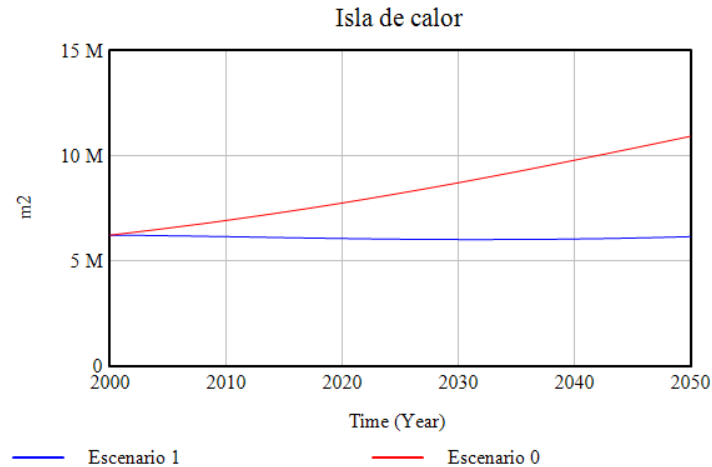
La tasa de afección por ruido presenta ahora un menor crecimiento que en el caso anterior, viéndose favorecida por la posible implementación de barreras acústicas naturales o la disminución del tráfico en los núcleos urbanos.



Gráfica 29. Evolución de la tasa de afección por ruido para los escenarios 0 y 1.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

El efecto isla de calor se mantiene, en este escenario, prácticamente constante, presentando un crecimiento mucho menor que el caso anterior. Esto es debido a que,

gracias a la inversión en infraestructura verde y azul, se ha logrado frenar la excesiva artificialización e impermeabilización de la ciudad.



Gráfica 30. Evolución de la superficie impermeabilizada afectada por el efecto isla de calor para los escenarios 0 y 1.

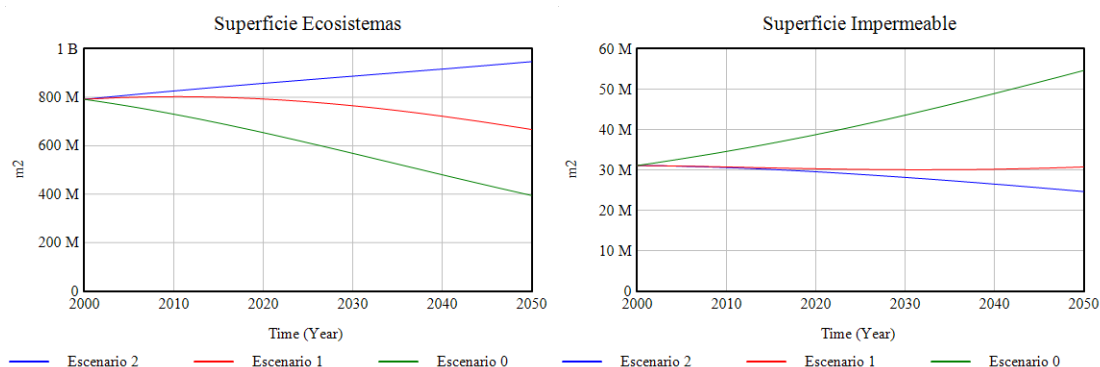
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

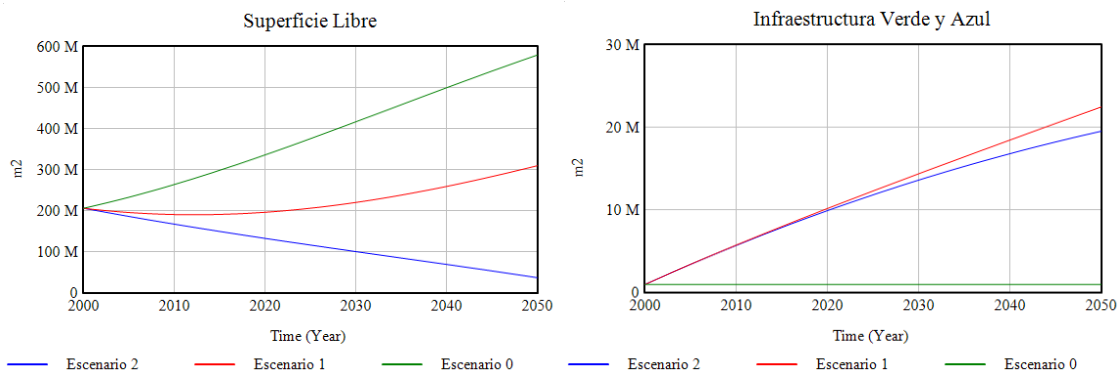
3.1.3 Caso tercero: implementación de políticas

En el tercer escenario de simulación, se han implementado al sistema los efectos de la aplicación de un conjunto de políticas o medidas que afecten a algunos de los parámetros fundamentales en el desarrollo sostenible de una ciudad, en conjunto con las inversiones establecidas en el escenario anterior, en materia de regeneración y conservación de ecosistemas y construcción de infraestructura verde y azul.

Superficies

La distribución de las superficies es la que se muestra en los siguientes gráficos.





Gráfica 31.a) Evolución de la superficie de ecosistemas, 31.b) Evolución de la superficie impermeable, 31.c) Evolución de la superficie libre y 31.d) Evolución de la infraestructura verde y azul para los escenarios 0, 1 y 2.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

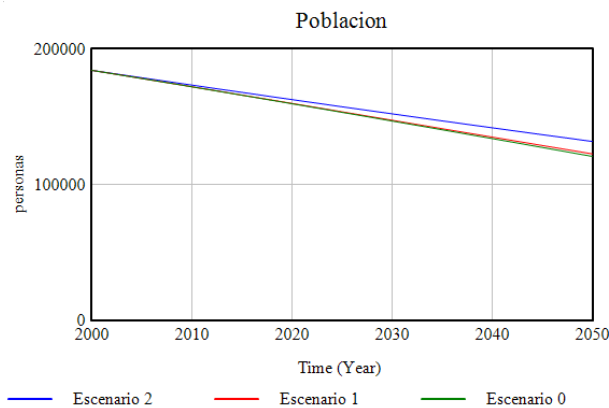
Puede observarse que, en este tercer escenario, la implementación de políticas específicas para la disminución de los niveles de contaminación, tanto de emisiones de GEI como de vertidos contaminantes, repercuten positivamente en la evolución de los ecosistemas, modificando la tendencia a la desaparición de estos, siendo representada por una curva mucho más tendida, manteniéndose la superficie ocupada por ecosistemas prácticamente constante en el tiempo.

Por otro lado, consecuencia de la conservación de los ecosistemas, la superficie libre disminuye, debido a la recuperación de parte de esta superficie libre, y su conversión en ecosistemas.

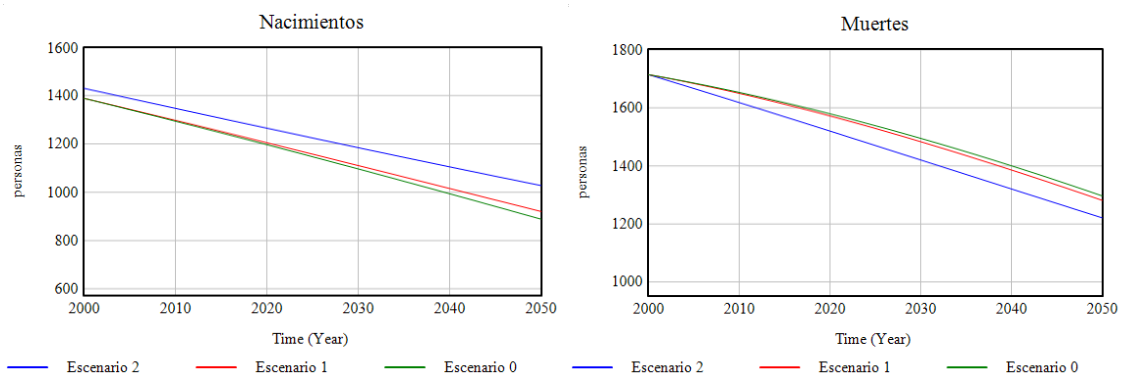
La infraestructura verde y azul, por su parte, mantiene su crecimiento, llegando incluso a, no solo frenar el proceso de impermeabilización de la ciudad si no que, se recupera parte del espacio artificializado para convertirlo en corredores verdes, espacios verdes urbanos, SUDS, etc.

Población

Los cambios demográficos en la población son más acentuados en este último escenario, en comparación con el anterior. En este caso, los nacimientos se incrementan debido a la influencia de las políticas de empleo suponiendo que, gracias a estas, se logra incrementar en un 10% la tasa de empleo en el área de estudio. Las muertes, por otro lado, se sitúan por debajo de los valores que presentaban anteriormente, debido a la disminución de la tasa de morbilidad hospitalaria, consecuencia de la drástica disminución de la contaminación atmosférica y de las enfermedades asociadas, gracias a las políticas de control de emisiones establecidas.



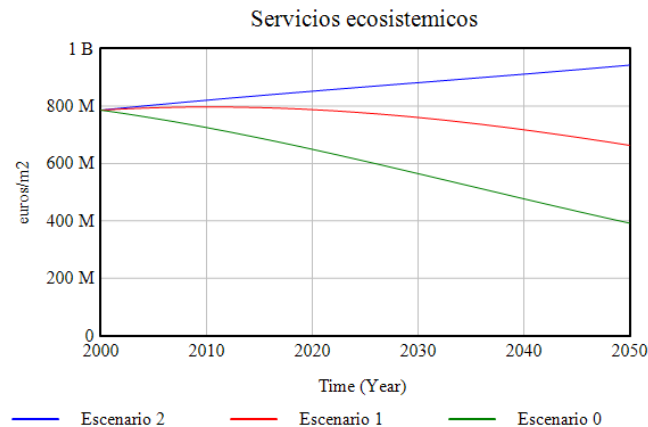
Gráfica 32. Evolución de la población para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.



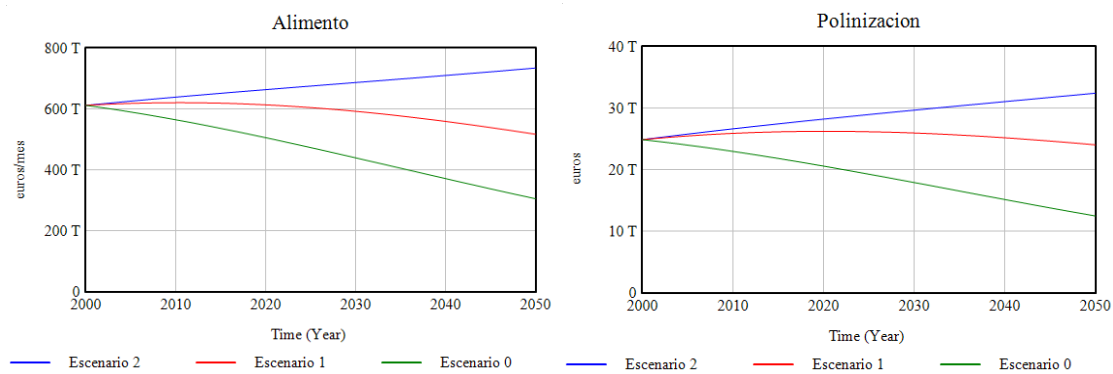
Gráfica 33.a) Evolución de los nacimientos y 33.b) Evolución de las muertes para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Servicios ecosistémicos

En este escenario se consigue que la generación de servicios ecosistémicos por parte de los ecosistemas e infraestructuras verdes y azules presente una tendencia creciente. Esto supone que, en este caso, no sólo se logran mantener los ecosistemas existentes y frenar en gran medida su degradación, sino que, además, se consigue llevar a cabo una regeneración de superficies que hubieran perdido su biodiversidad y valor como ecosistemas con anterioridad y crear nuevos espacios urbanos con capacidad de proporcionar estos servicios ecosistémicos.



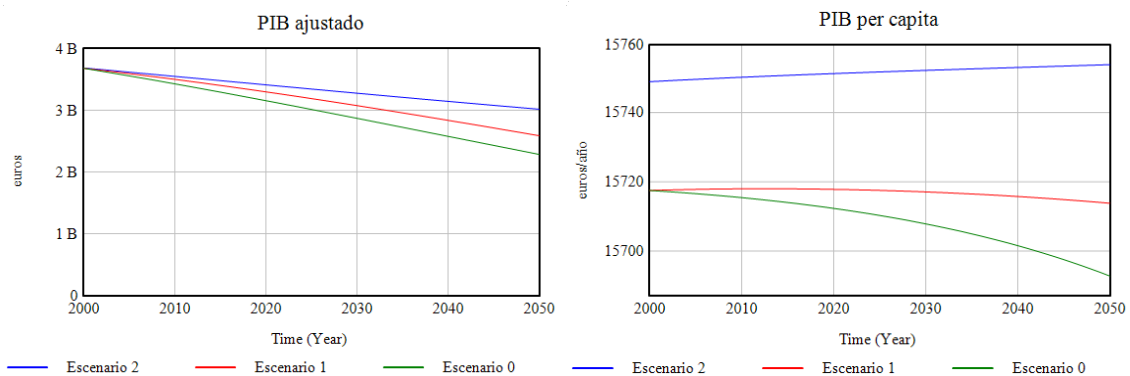
Gráfica 34. Evolución de la producción de servicios ecosistémicos para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.



Gráfica 35.a) Evolución de la producción del servicio ecosistémico "Alimento" y 35.b) Evolución de la producción del servicio ecosistémico "Polinización" para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Economía

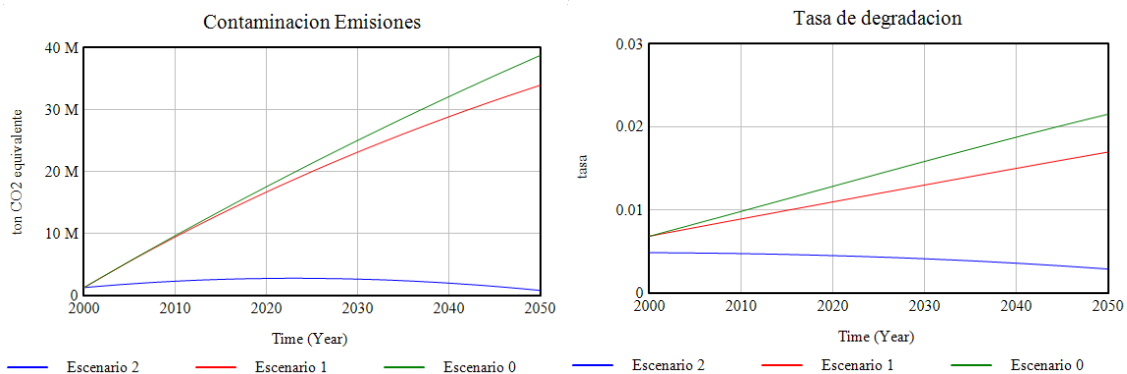
Las repercusiones de la implantación de políticas de diverso ámbito en esta simulación sobre los principales indicadores económicos (el PIB y el PIB per cápita) son una curva de decrecimiento mucho más tendida para la progresión del PIB ajustado entre los años 2000-2050, gracias al aporte económico que supone para Santander la producción de servicios ecosistémicos. Por otro lado, el PIB per cápita incrementa su valor gracias al aumento de la tasa de empleo, promovida, por las nuevas políticas de empleo y por la generación de empleo que supone el desarrollo de los ecosistemas y la mejora de la calidad de vida de la población.



Gráfica 36.a) Evolución del PIB ajustado y 36.b) Evolución del PIB per cápita para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Contaminación

Los niveles de contaminación por emisiones de GEI crecen en este escenario de forma mucho más limitada, no superando en ningún año los 5 millones de toneladas de CO₂ equivalente. Los vertidos incontrolados se hacen cero en este escenario, bajo el supuesto de que todos los residuos generados son tratados. Como consecuencia de la drástica disminución en los niveles de contaminación, la tasa de degradación de los ecosistemas disminuye respecto a los escenarios previos, presentando ahora una progresión decreciente en el tiempo, siempre tomando valores por debajo de 0,01 y tendentes a cero.

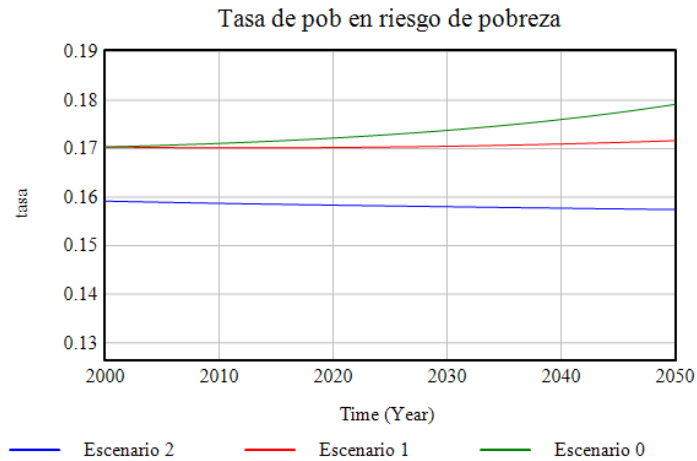


Gráfica 37.a) Evolución de las emisiones contaminantes de CO₂ equivalente y 37.b) Evolución de la tasa de degradación de ecosistemas para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Indicadores calidad de vida

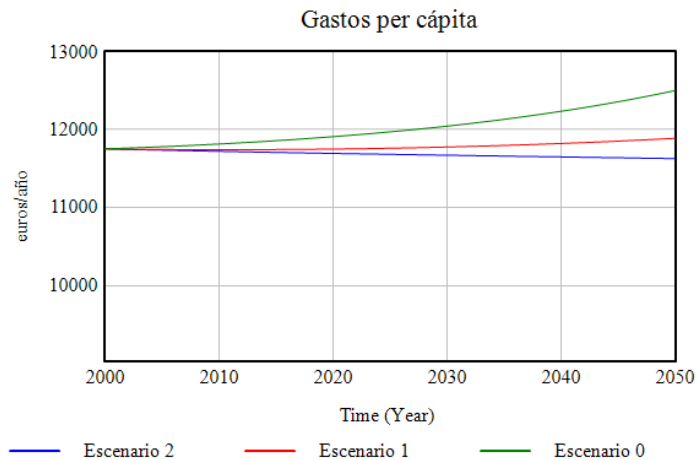
• Dimensión 1: Condiciones materiales de vida

La población en riesgo de pobreza es previsiblemente menor debido a las políticas de empleo que suponen un valor más alto de la tasa de empleo, y, consecuentemente, una reducción de la tasa de paro.

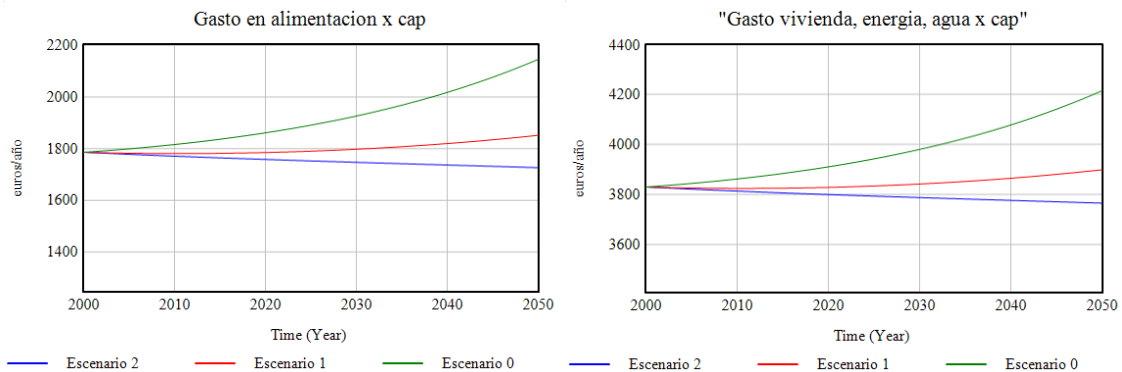


Gráfica 38. Evolución de la población en riesgo de pobreza para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

En este escenario de simulación, el incremento de la producción de servicios ecosistémicos tiene un efecto positivo en la evolución de los gastos por persona, logrando hacer disminuir dichos gastos totales, considerando que parte de las necesidades de consumo y de los gastos que acarrearán pueden verse cubiertas por los servicios ecosistémicos que proporcionan los ecosistemas y la infraestructura verde y azul.



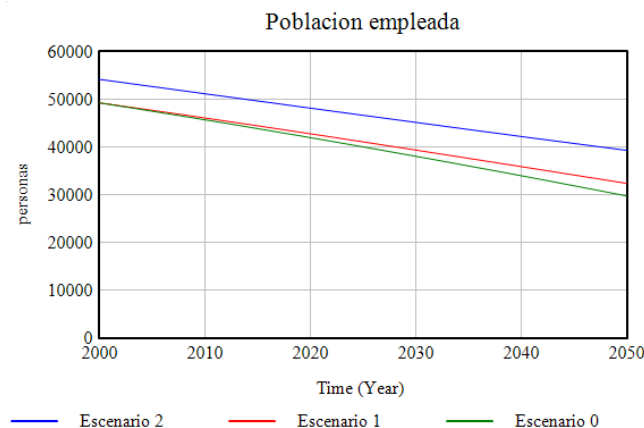
Gráfica 39. Evolución de los gastos per cápita anuales para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.



Gráfica 40.a) Evolución del gasto en alimentación per cápita anual y 40.b) Evolución del gasto en vivienda, energía y agua per cápita anual para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

• Dimensión 2: Trabajo

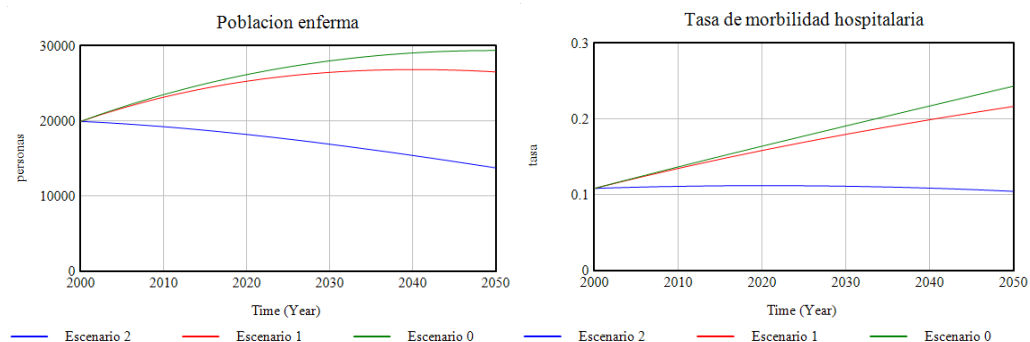
La tasa de empleo es directamente incrementada a través de la implantación de políticas de empleo, que implican el incremento de la misma en un 10% inicialmente.

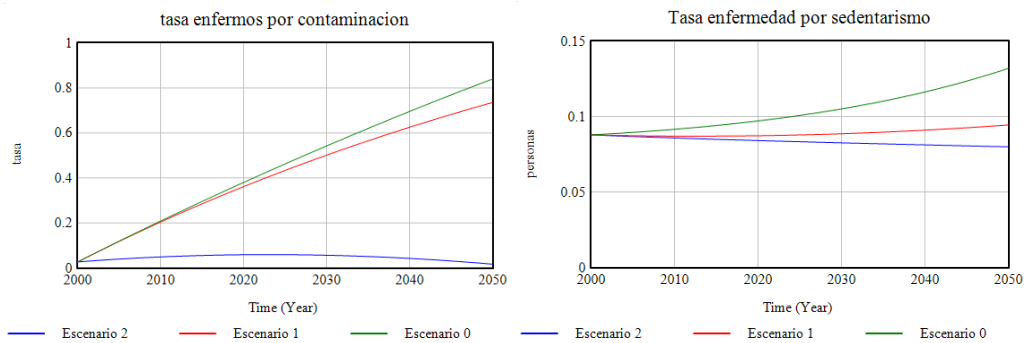


Gráfica 41. Evolución de la población empleada para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

• Dimensión 3: Salud

Los indicadores de calidad de vida relativos al estado de salud general de la población sufren una variación importante respecto a los escenarios previos. La población enferma cambia la tendencia de su progresión, pasando de ser creciente a decreciente.



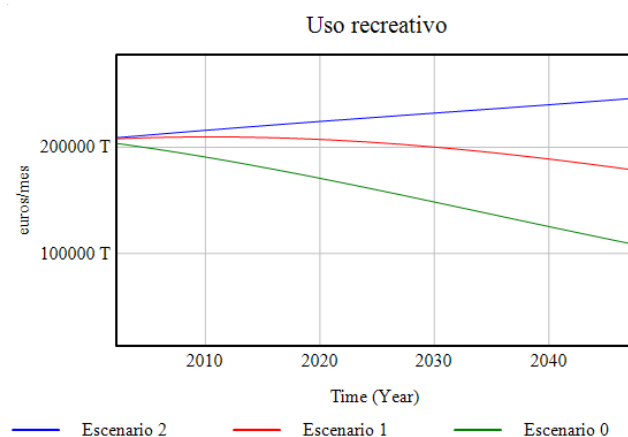


Gráfica 42.a) Evolución de la población enferma, 42.b) de la tasa de morbilidad hospitalaria, 42.c) de la tasa de enfermos por contaminación y 42.d) de la tasa de enfermedad por sedentarismo para los escenarios 0, 1 y 2.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

La tasa de morbilidad hospitalaria reduce su crecimiento considerablemente, manteniéndose prácticamente estable a lo largo de los 50 años de simulación. Esta reducción de la tasa de morbilidad hospitalaria se debe a que la tasa de enfermos por contaminación se ve reducida en proporción a la disminución de las emisiones contaminantes y, por otro lado, de la disminución del estilo de vida sedentario en parte de la población, que conlleva una reducción proporcional de la tasa de enfermedad por sedentarismo.

• Dimensión 5: Ocio y relaciones sociales

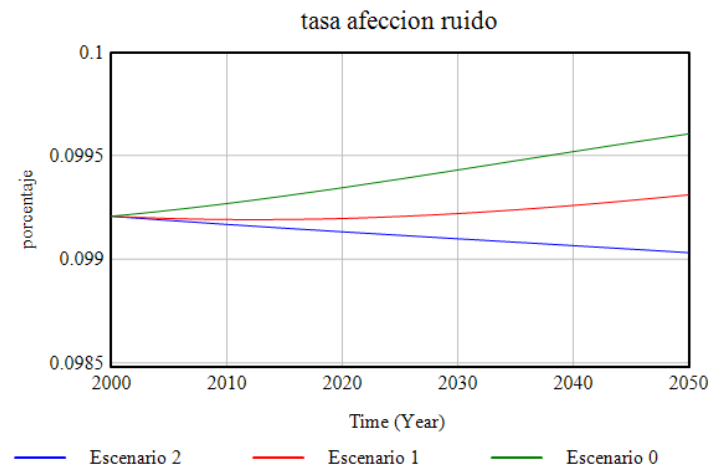
Las actividades relativas al ocio y relaciones sociales, considerando como indicador el uso recreativo de los espacios destinados a las actividades sociales y recreativas de ecosistemas e infraestructuras verdes, sufren en este escenario una progresión positiva, reportando un beneficio económico creciente al área de estudio.



Gráfica 43. Evolución del servicio ecosistémico "Uso recreativo" para los escenarios 0, 1 y 2.
Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

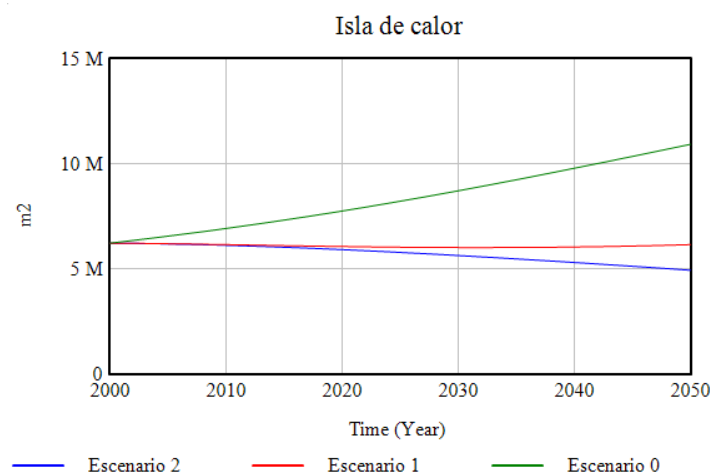
• Dimensión 8: Entorno y medioambiente

En cuanto a los indicadores de calidad de vida relativos al entorno y el medio ambiente, la tasa de afección por ruido decrece, al igual que en escenario 1, pero en este caso, de forma más acusada.



Gráfica 44. Evolución de la tasa de afección por ruido para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

Por otro lado, el efecto isla de calor presenta una progresión proporcional a la evolución de la superficie impermeabilizada y a la mejor capacidad de regulación térmica de la ciudad gracias a la implantación de infraestructura verde y de la presencia de ecosistemas, logrando reducirse, para el año 2050, hasta la mitad del valor que presentaba en el escenario más desfavorable.



Gráfica 45. Evolución de la superficie impermeabilizada afectada por el efecto isla de calor para los escenarios 0, 1 y 2.
 Fuente: elaboración propia, 2020. Realizado con Vensim PLE.

3.2 Análisis de sensibilidad del modelo

El análisis de sensibilidad nos permite observar variaciones en los resultados de los valores de las distintas variables del modelo como consecuencia del incremento o disminución de algunos de los parámetros de este, manteniéndose el resto de los valores constantes.

En primer lugar, para la realización del análisis de sensibilidad, se ha procedido a la identificación de los principales parámetros de afección al modelo y se han establecido

variaciones de sus valores del orden de magnitud del 1% de su valor inicial (tanto positivo como negativo) dando lugar a nuevos escenarios.

Las variables de entrada que se han identificado como variables significativas, cuyo incremento o minoración puede ser de interés en el análisis de sensibilidad son:

- a) las inversiones en regeneración de ecosistemas y en infraestructura verde (como porcentajes del PIB).
- b) el porcentaje de generación de emisiones de gases de efecto invernadero contaminantes.
- c) el porcentaje de reducción de vehículos contaminantes impuesto por las políticas de transporte.
- d) el porcentaje de reducción de la emisión de gases de efecto invernadero por los vehículos.
- e) el porcentaje de incremento de la tasa de empleo.

La consecuencia de la variación de estos parámetros se ha estudiado para algunas de las variables más relevantes del modelo, como son el PIB, la producción de servicios ecosistémicos, la superficie de ecosistemas y evolución de la población.

PIB

Tabla 19. Análisis de sensibilidad PIB.

VARIACIÓN PARÁMETROS ±1%	Variación PIB (%)				
	2010	2020	2030	2040	2050
VARIACIONES Inversión					
Inversión en Ecosistemas +1	2,14	4,28	3,71	2,73	2,12
Inversión en IV +1	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10
Inversión en Ecosistemas -1	-2,10	-4,44	-7,07	-10,04	-13,42
Inversión en IV -1	-0,01	-0,02	-0,04	-0,07	-0,12
VARIACIÓN EMISIONES					
Políticas contaminación -1 (menos emisiones)	0,01	0,02	0,06	0,11	0,18
Políticas contaminación +1 (más emisiones)	-0,01	-0,02	-0,05	-0,10	-0,18
VARIACION POLÍTICAS TRANSPORTE					
Políticas transporte -1	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Políticas transporte +1	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01
VARIACION EMISIONES TRANSPORTE					
Políticas emisiones transporte +1	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01
Políticas emisiones transporte -1	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
VARIACION POLÍTICAS EMPLEO					
Políticas empleo +1	0,61	1,09	1,60	2,14	2,70
Políticas empleo -1	-0,61	-1,08	-1,59	-2,11	-2,66

Fuente: elaboración propia, 2021.

En cuanto al PIB, los parámetros que, según el análisis de sensibilidad, para la variación del $\pm 1\%$ suponen una mayor perturbación en su valor son, en primer lugar, los porcentajes de inversión en regeneración y conservación de ecosistemas, de forma que, si se minora dicha inversión en un 1%, el PIB sufre un decremento del 13,42% en el año 2050. Cabe destacar que la repercusión en el PIB de las variaciones en la inversión en regeneración de ecosistemas es mucho mayor para el caso de su minoración que en el contrario.

En segundo lugar, el porcentaje de incremento de la tasa de empleo como consecuencia de la implementación de las políticas de empleo, con una variación de hasta el 2,70% en el año 2050 para una variación positiva y una disminución del 2,66% para una variación negativa. En tercer lugar, la variación de las políticas medioambientales referentes a la reducción de la contaminación por emisiones, resultando, como se observa en la tabla 19, una variación del PIB del $\pm 0,18\%$ en el año 2050.

Superficie de ecosistemas

Tabla 20. Análisis de sensibilidad de la superficie de ecosistemas.

VARIACIÓN PARÁMETROS $\pm 1\%$	Variación PIB (%)				
	2010	2020	2030	2040	2050
VARIACIÓN EMISIONES					
Políticas contaminación -1 (menos emisiones)	0,02	0,07	0,15	0,28	0,44
Políticas contaminación +1 (más emisiones)	-0,02	-0,07	-0,15	-0,27	-0,44
VARIACION POLÍTICAS TRANSPORTE					
Políticas transporte -1	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
Políticas transporte +1	0,00	0,00	-0,01	-0,02	-0,02
VARIACION EMISIONES TRANSPORTE					
Políticas emisiones transporte +1	0,00	0,00	-0,01	-0,02	-0,03
Políticas emisiones transporte -1	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03

Fuente: elaboración propia, 2021.

Según los resultados del análisis de sensibilidad de la superficie ocupada por ecosistemas, el parámetro más influyente de los estudiados es la contaminación por emisiones de gases de efecto invernadero.

Servicios ecosistémicos

Tabla 21. Análisis de sensibilidad de los servicios ecosistémicos.

VARIACIÓN PARÁMETROS $\pm 1\%$	Variación PIB (%)				
	2010	2020	2030	2040	2050
VARIACIÓN EMISIONES					
Políticas contaminación -1 (menos emisiones)	0,02	0,07	0,15	0,28	0,44
Políticas contaminación +1 (más emisiones)	-0,02	-0,07	-0,15	-0,27	-0,44
VARIACION POLÍTICAS TRANSPORTE					

Políticas transporte -1	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
Políticas transporte +1	0,00	0,00	-0,01	-0,02	-0,02
VARIACION EMISIONES TRANSPORTE					
Políticas emisiones transporte +1	-1,45	-2,94	-4,60	-6,52	-8,76
Políticas emisiones transporte -1	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03

Fuente: elaboración propia, 2021.

En base a los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad de la producción de servicios ecosistémicos, se puede destacar la influencia del incremento de las emisiones de gases contaminantes de los vehículos, que supone un decremento del 8,75% en 2050. En contraposición, la minoración de las emisiones no produce un crecimiento tan significativo, como puede verse en los resultados que se muestran en la tabla 15.

Por otro lado, la variación del 1% en la generación de contaminación supone una variación del 0,44% inversamente proporcional a su incremento o disminución.

Población

Tabla 22. Análisis de sensibilidad de la variable población.

VARIACIÓN PARÁMETROS ±1%	Variación PIB (%)				
	2010	2020	2030	2040	2050
VARIACIONES INVERSIÓN					
Inversión en Ecosistemas +1	0,03	0,12	0,24	0,38	0,53
Inversión en IV +1	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05
Inversión en Ecosistemas -1	-0,03	-0,14	-0,35	-0,69	-1,22
Inversión en IV -1	0,00	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06
VARIACIÓN EMISIONES					
Políticas contaminación -1 (menos emisiones)	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06
Políticas contaminación +1 (más emisiones)	0,00	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06
VARIACION POLÍTICAS TRANSPORTE					
Políticas transporte -1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003
Políticas transporte +1	0,000	-0,001	-0,001	-0,002	-0,003
VARIACION EMISIONES TRANSPORTE					
Políticas emisiones transporte +1	0,000	-0,001	-0,001	-0,003	-0,004
Políticas emisiones transporte -1	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004
VARIACION POLÍTICAS EMPLEO					
Políticas empleo +1	0,58	1,22	1,92	2,70	3,56
Políticas empleo -1	-0,58	-1,22	-1,91	-2,67	-3,52

Fuente: elaboración propia, 2021.

Los resultados del análisis de sensibilidad de la población para la variación de los parámetros seleccionados se muestran en la Tabla 22.

En base a los porcentajes de variación resultantes, se puede establecer que, en el modelo realizado, las políticas de empleo y, consecuentemente, la tasa de empleo tiene una influencia significativa en la evolución de la población. Por otro lado, se observa que la

variación de la inversión destinada a la regeneración y conservación de los ecosistemas del área de estudio también presentan valores significativos de influencia en la población.

3.3 Análisis rentabilidad de la inversión

El análisis de rentabilidad permite justificar, a través de los resultados del modelo económico, la inversión de un porcentaje del PIB en regeneración de ecosistemas y fomento de la infraestructura azul en Santander y el área del fondo de la bahía. Dicha inversión se considerará pertinente si, en base a los resultados del modelo, resulta posible identificar beneficios económicos, medioambientales y sociales, que superen la inversión realizada.

Tomando como base los resultados obtenidos de la simulación de los tres escenarios seleccionados, es posible realizar un análisis de la rentabilidad económica de la inversión del 2% del PIB anualmente en la conservación y regeneración de los ecosistemas y en el desarrollo e implementación de infraestructura verde y azul, así como de la instauración de un conjunto de medidas y políticas socioeconómicas y medioambientales.

Para ello, se han extraído del modelo en Vensim los resultados numéricos del PIB a lo largo de los 50 años de estudio para cada uno de los tres escenarios y, del mismo modo, los resultados de las inversiones realizadas, como porcentaje del PIB.

Se ha procedido a realizar una comparación numérica de la influencia de las inversiones en el PIB, de forma que, considerando el valor de las inversiones en los 50 años de la simulación en cada uno de los escenarios y los valores del PIB resultantes para el mismo período de tiempo, se pueden observar los siguientes resultados (Tabla 23 y Tabla 24).

Tabla 23. Resultados numéricos de los valores de las inversiones y el PIB para el escenario 1 de simulación.

CASO 1	Años				
	2010	2020	2030	2040	2050
Inversión (€)	3,50E+07	3,30E+07	3,08E+07	2,84E+07	2,59E+07
PIB (€)	3,50E+09	3,30E+09	3,08E+09	2,84E+09	2,59E+09

Fuente: elaboración propia, 2021.

Tabla 24. Resultados numéricos de los valores de las inversiones y del PIB para el escenario 2 de simulación.

CASO 2	Años				
	2010	2020	2030	2040	2050
Inversión (€)	3,55E+07	3,41E+07	3,28E+07	3,15E+07	3,02E+07
PIB (€)	3,55E+09	3,41E+09	3,28E+09	3,15E+09	3,02E+09

Fuente: elaboración propia, 2021.

A partir de estos resultados, se ha realizado el cálculo de la variación del PIB para cada uno de los escenarios de inversión de la forma:

$$(PIB_n - PIB_{n-1})/PIB_{n-1}$$

Los resultados de los incrementos porcentuales del PIB anualmente como consecuencia de las inversiones y políticas propuestas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 25. Porcentajes de incremento del PIB como consecuencia de las actuaciones desarrolladas en cada escenario de simulación.

	Incremento PIB (%)				
	2010	2020	2030	2040	2050
Caso 0 - Caso 1	2,13	4,53	7,18	10,08	13,24
Caso 0 - Caso 2	3,54	8,14	14,18	21,99	32,04
Caso 1 - Caso 2	1,38	3,45	6,53	10,82	16,60

Fuente: elaboración propia, 2021.

Para el escenario 1, respecto a la situación del escenario 0, el incremento del PIB como consecuencia de una inversión del 2% del PIB en regeneración de ecosistemas e infraestructura verde, resulta del 2,13 en 2010 y alcanza el 13,24% en 2050.

Para el escenario 2, respecto al escenario 0, el incremento del PIB como consecuencia de una inversión del 2% del PIB en regeneración de ecosistemas e infraestructura verde y de la implantación de políticas medioambientales y socioeconómicas, es del 3,54% en 2010 y del 32,04% en 2050.

Por su parte, la implantación de las políticas en el escenario 2, respecto del escenario 1 supone un incremento del PIB de hasta el 16,60% para el año 2050.

4 Conclusiones

A la luz de los resultados obtenidos para las simulaciones de los tres posibles escenarios que se han considerado de interés en este trabajo, se ha procedido a elaborar un análisis de dichos resultados, cuyo fin es establecer un conjunto de conclusiones respectivas a los objetivos establecidos al comienzo de este Trabajo Fin de Máster.

En referencia a los objetivos primarios, que son relativos a la propia elaboración del modelo de dinámica de sistemas de la ciudad de Santander, las conclusiones derivadas del estudio realizado se exponen a continuación.

Modelado económico de Santander

En primer lugar, se ha logrado identificar un conjunto de sistemas principales, compuestos por variables, relativos a las variaciones demográficas, socioeconómicas, urbanísticas, ecológicas y medioambientales, etc. que permiten, estableciendo las adecuadas relaciones entre ellas, modelar las complejas dinámicas de la ciudad, otorgando visibilidad a los ciclos de realimentación estabilizadores y desestabilizadores existentes.

Una vez seleccionados los sistemas que constituyen los actores principales de las dinámicas económicas de la ciudad, se han establecido las relaciones de interdependencia que existen entre las diferentes variables del modelo. Este proceso de identificación de las relaciones existentes entre variables supone uno de los pasos de mayor complejidad en la elaboración del modelo, puesto que su mayor o menor precisión y similitud con la compleja realidad que se pretende simular depende, en gran medida, del número de relaciones que sea posible identificar y establecer mediante ecuaciones matemáticas que representen lo mejor posible la influencia de la variación de unas variables en otras y, a través de estas, en el conjunto del sistema.

Como conclusión, puede determinarse que el número de relaciones que se pueden implementar el modelo no se limita a las que se han considerado en este trabajo, sino que son susceptibles de ampliarse a nuevas dimensiones, incluyendo nuevas variables y relaciones en el modelo de la ciudad, de forma que este se acerque, de forma más precisa, a la representación de las complejas dinámicas urbanas reales.

En definitiva, se concluye que, a pesar de que gran parte de las interrelaciones entre variables son intuitivas, la existencia de documentación y literatura científica que proporcione datos exactos sobre la influencia real de unas variables en otras, de forma cuantitativa y para el caso concreto de estudio, es escasa o, en ocasiones, inexistente. Por lo tanto, se manifiesta la necesidad de una mayor labor de investigación que proporcione, a nivel local, datos comprobados y fiables sobre la existencia de relaciones entre variables, y el grado de afección o influencia, así como la forma en que se establece dicha relación, que permitan sustituir las suposiciones y las ecuaciones lineales por ecuaciones de mayor complejidad en los casos que las requieran, basadas en comportamientos reales y empíricos.

Del **análisis de sensibilidad** se han obtenido las variables de mayor influencia en el sistema, cuya variación presenta una mayor repercusión en las variables principales del modelo de la ciudad. En base a los resultados obtenidos para los supuestos analizados, se ha concluido que, para el PIB, destacan por su influencia la inversión en regeneración de ecosistemas, especialmente la ausencia de inversión, que supone un decremento del PIB del 13,42% en 2050. La evolución de las superficies ocupadas por ecosistemas, por su parte, se muestra especialmente sensible a la variación de los niveles de emisiones contaminantes. La producción de servicios ecosistémicos, del mismo modo, presenta una alta sensibilidad ante las variaciones en los niveles de contaminación, siendo destacable la influencia negativa en la producción de estos servicios del incremento en las emisiones de los vehículos y transporte terrestre. Por otro lado, en el plano demográfico, la población presenta los mayores índices de sensibilidad ante variaciones en la tasa de empleo y en las inversiones en regeneración y conservación de ecosistemas.

Análisis de rentabilidad de la inversión

En relación con el segundo objetivo del TFM, la realización de un análisis de la rentabilidad, económica y en términos de calidad de vida, de la inversión en infraestructura verde como vía para la regeneración y mantenimiento de los ecosistemas urbanos y la restauración de ecosistemas, se exponen, a continuación, las conclusiones derivadas de los resultados obtenidos.

Bajo los supuestos que se han realizado y considerando las relaciones entre variables del modelo que se aplican, y que se justifican en los apartados previos, se pueden concluir las consecuencias económicas, sociales y ecológicas de los tres escenarios simulados.

Del análisis de los resultados del **escenario 0**, consistente en una situación de inversión nula en conservación y regeneración de ecosistemas y en desarrollo e implantación de infraestructura verde y azul, y la inexistencia de políticas medioambientales ni socioeconómicas, se puede concluir que la ciudad de Santander experimenta pérdidas de nivel económico, ecológico y demográfico, puesto que los principales indicadores de estas dimensiones, como son el PIB, la superficie ocupada por ecosistemas y la producción de servicios ecosistémicos asociada, así como la población presentan una evolución decreciente.

Por otro lado, los indicadores de calidad de vida cuyo comportamiento se ha evaluado en función de los distintos escenarios muestran que, para el escenario inicial y más desfavorable, la calidad de vida de los individuos que habitan en el área de estudio se ve afectada negativamente por factores como los excesivos niveles de contaminación, la creciente artificialización de las ciudades, la pérdida de servicios ecosistémicos, un estado de salud comprometido por un estilo de vida sedentario y la contaminación atmosférica, y la pérdida de empleo, entre otros.

En el **escenario 1**, mediante la incorporación de nuevas variables al sistema y variación de los valores de las ya existentes con la finalidad de simular los efectos de la inversión en infraestructura verde y de la regeneración de ecosistemas, se ha obtenido una variación de los indicadores económicos, ecológicos y sociales. La calibración del modelo permite

obtener resultados coherentes con la realidad y que, por tanto, pueden considerarse para establecer comparaciones entre los diferentes escenarios.

De los resultados del escenario 1, se puede concluir que, en efecto, la inversión en la conservación y regeneración de ecosistemas permite que la desaparición de estos sea amortiguada, presentando una degradación considerablemente más lenta. A su vez, la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios ecosistémicos, considerando que su evolución es paralela a la de la superficie ocupada por estos, también se incrementa respecto al escenario anterior, con su consecuente influencia positiva en la economía de Santander, incrementando el valor del PIB ajustado y disminuyendo el gasto en algunos sectores como la alimentación y la energía, agua, vivienda, etc.

La inversión en infraestructura verde y azul, debido a su menor capacidad de ocupación dentro del área de estudio, pues se proyecta principalmente sobre el núcleo urbano artificializado, no representa un papel excepcional en la producción de servicios ecosistémicos a nivel del conjunto del área de estudio, en comparación con el área ocupada por los ecosistemas. No obstante, su implantación constituye un factor de gran relevancia en la mejora de la calidad de vida de los habitantes de la ciudad, proporcionando una mayor capacidad de regulación térmica y gestión hidrológica, acercando a la población espacios de esparcimiento y destinados al fomento de la actividad física, del ocio y las relaciones sociales. Sin embargo, puede observarse que, con unos niveles de contaminación que se incrementan cada vez más en el marco temporal seleccionado, la degradación de los ecosistemas se mantiene en niveles elevados.

En el **escenario 2**, la implementación al modelo de un conjunto de medidas y políticas medioambientales y socioeconómicas, junto con la inversión en infraestructura verde y regeneración de ecosistemas, muestra una nueva situación, que se presenta como la más favorable en todos los aspectos.

En el ámbito económico, tiene lugar una mayor producción de servicios ecosistémicos que, presenta incluso una evolución creciente al aumentar la superficie ocupada por ecosistemas capaces de generarlos. Como consecuencia, los efectos positivos son la reducción de los gastos en alimentación y energía, vivienda y agua, además del incremento del PIB ajustado.

En este escenario los ecosistemas presentan un leve crecimiento dentro del marco temporal estudiado, favorecido por las políticas de gestión de emisiones y vertidos contaminantes, que provocan una reducción considerable de los mismos, disminuyendo la degradación de los ecosistemas.

A nivel demográfico, puede observarse que, bajo los supuestos establecidos en la construcción del modelo, la inversión en el desarrollo de los ecosistemas no presenta una influencia decisiva en el escenario 1 sobre los movimientos naturales de la población. No obstante, en el escenario 2, la inversión en conservación de ecosistemas e infraestructura verde, junto con las políticas implementadas, proporciona un incremento de la natalidad y un descenso de la mortalidad, además de mejoras en los indicadores de calidad de vida de la población, como son una subida del empleo, el descenso de la población enferma a

causa de la contaminación y el sedentarismo, el descenso de la población en riesgo de pobreza y exclusión social, etc.

En definitiva, tomando en consideración los resultados del **análisis de rentabilidad** realizado a partir del modelo económico de la ciudad, la inversión en conservación y regeneración de los ecosistemas de Santander y el área del fondo de la bahía, así como la inversión en el desarrollo e implantación de infraestructura verde y azul, puede considerarse rentable, no solo económicamente, sino también, en el ámbito social y medioambiental. Puesto que, según el citado análisis de rentabilidad, para el escenario de simulación que incluye la inversión en infraestructura verde y ecosistemas y el paquete de políticas medioambientales y socioeconómicas, el PIB experimenta un crecimiento del 32,04% respecto al valor del PIB en el escenario más desfavorable, es decir, sin inversión ni políticas, puede concluirse que dicha inversión es rentable en términos económicos.

Por otro lado, la **rentabilidad en términos de calidad de vida** se determina en función de las variaciones de los indicadores de calidad de vida. De los resultados expuestos en los apartados previos, se deduce con claridad que, en el modelo económico desarrollado, la totalidad de los indicadores de calidad de vida muestran tendencias positivas respecto a la situación inicial (en ausencia de inversión).

En resumen, las conclusiones principales de este trabajo fin de máster se pueden sintetizar en las que se exponen a continuación:

- En primer lugar, que es posible desarrollar un modelo mediante la dinámica de sistemas de una ciudad o región, que represente el comportamiento de las dinámicas urbanas en los ámbitos económico, social y medioambiental.
- En segundo lugar, que la elaboración de dicho modelado se ve limitada y condicionada por la cantidad y calidad de la información y datos científicos existentes que permitan definir el comportamiento de las diferentes variables del modelo ajustándose a la realidad en el mayor grado de exactitud posible. Definir con precisión la influencia de las diversas variables en el sistema permite establecer relaciones fiables entre ellas, y reproducir la realidad urbana de forma que los resultados que se deriven del modelo sean lo más fieles a la realidad posible.
- En tercer lugar, que bajo los supuestos que se han considerado para el modelado y su calibración, y como consecuencia de los resultados obtenidos para los tres escenarios de simulación, se puede concluir que, la inversión del 2% del PIB de Santander en conservación y regeneración de ecosistemas y en infraestructura verde y la implementación de políticas medioambientales y socioeconómicas, resulta económica, medioambiental y socialmente rentable, suponiendo el progreso en la economía y en la calidad de vida de los habitantes del área de estudio.

Reflexión personal

A modo de reflexión personal, la realización de este trabajo fin de máster me ha aportado la ampliación de mis conocimientos previos sobre diversos ámbitos, como son: el económico, en cuanto a la realización del análisis de rentabilidad y la búsqueda de una perspectiva económetra en la constitución del modelo económico de la ciudad de Santander; la dinámica de sistemas, a través del desarrollo del modelo económico mediante el manejo del Software Vensim y la comprensión de la complejidad de la representación de las dinámicas urbanas y el establecimiento de las relaciones entre las múltiples variables que lo componen; en el ámbito medioambiental, la profundización en los riesgos a los que se enfrenta la sociedad actual, y la importancia de la biodiversidad, la resiliencia de las ciudades, las funciones de los ecosistemas y la consecución de un desarrollo sostenible; y finalmente, el estudio más en profundidad de las propuestas de la ingeniería para la mitigación de las consecuencias de las amenazas medioambientales, como la infraestructura verde y azul, o la restauración de ecosistemas, así como otras medidas que son posibles, en definitiva, gracias a las actuaciones de la ingeniería civil.

En la realización del trabajo han ido surgiendo dificultades, prioritariamente, en la construcción del modelo económico, más concretamente, en el establecimiento de las relaciones entre variables y en la cuantificación de la influencia de unas variables en otras, bajo la dificultad añadida de adaptar dichas relaciones al caso concreto de Santander.

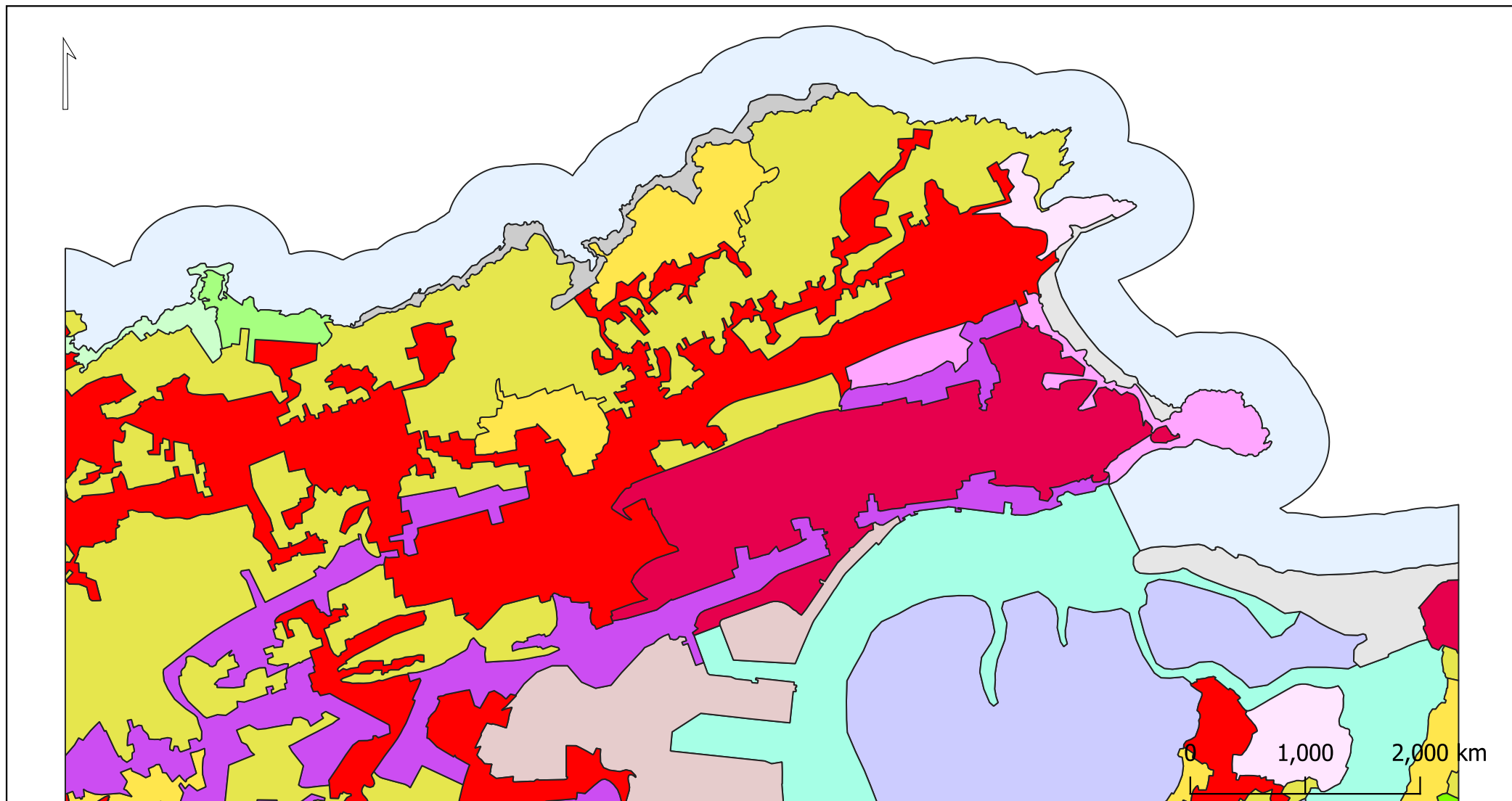
Desde mi perspectiva personal, este trabajo es susceptible de abrir nuevas vías de investigación en cuanto al empleo de la Dinámica de Sistemas en análisis de rentabilidad de actuaciones de ingeniería. Paralelamente, se manifiesta la necesidad de una línea de trabajo que se centre en la mejora de la capacidad de calibración de los modelos, de forma que se puedan obtener modelos que representen con la máxima fidelidad posible la realidad, y cuyos resultados puedan considerarse fiables para el análisis y la toma de decisiones.

5 Anexos

En este apartado se adjuntan los diferentes anexos que se han considerado de relevancia para la complementación de este trabajo. Estos anexos son:

- Anexo I. Mapa de usos del suelo del área de estudio.
- Anexo II. Valores de los servicios ecosistémicos “The TEEB Valuation Database”.
- Anexo III. Modelo económico de la ciudad de Santander realizado mediante Vensim.
- Anexo IV. Resultados: valores obtenidos en el modelo económico de Santander.
- Anexo V. Resultados: análisis de rentabilidad de la inversión.

**ANEXO I. MAPA DE USOS DEL SUELO DEL
ÁREA DE ESTUDIO**



Leyenda

CLC Area de la Bahía de Santander

Tejido urbano continuo

Tejido urbano discontinuo

Zonas industriales o comerciales

Zonas portuarias

Zonas verdes urbanas

Instalaciones deportivas y recreativas

Prados y praderas

Mosaico de cultivos

Bosques de frondosas

Landas y matorrales mesófilos

Playas, dunas y arenales

Roquedo

Espacios con vegetación escasa

Marismas

Estuarios

Mares y océanos

Título del mapa: Mapa de usos del suelo del área de estudio

Autora: Esther Barrios Crespo

Fecha: 26/11/2020

Fuente: Corine Land Cover 2018

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad de Cantabria

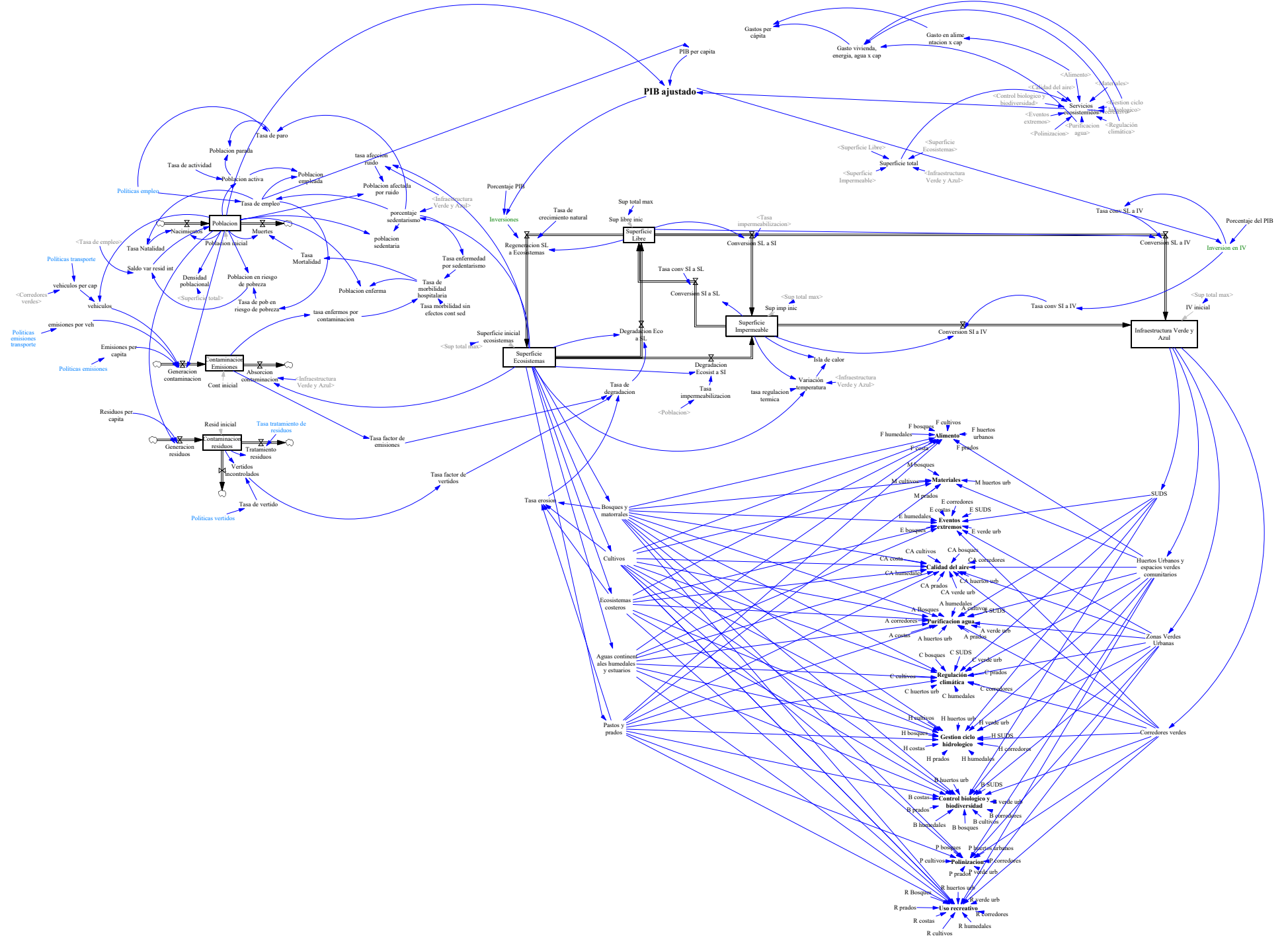


ANEXO II. VALORES DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS
“THE TEEB VALUATION DATABASE”

ANEXO II. VALORES DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS “THE TEEB VALUATION DATABASE”

ID	Biome	Ecosystem	ESService	ESSubservice	Location Name	Value	Unit	Authors	Year Of Publication
896	Coastal wetlands	Salt water wetlands	Food	Food [unspecified]	Po Delta, Ferrara, Italy	1300	USD/ha/yr	Gren, I.M. and T. Soderqvist	1994
696	Cultivated	Croplands	Food	Food [unspecified]	Shenzhen, Guangdong, China	968.1	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
694	Cultivated	Orchards	Food	Food [unspecified]	Shenzhen, Guangdong, China	193.6	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
943	Coastal	Coastal [unspecified]	Food	Food [unspecified]	Global	68	USD/ha/yr	Houde, E.D. and E.S. Rutherford	1993
1438	Grasslands	Grasslands [unspecified]	Food	Food [unspecified]	Central grasslands, USA	57.04	USD/ha/yr	US Department of Commerce	1995
1490	Forests [Temperate and Boreal]	Forest [unspecified]	Food	Food [unspecified]	Global	72	USD/ha/yr	Krutilla, J.V.	1991
1491	Forests [Temperate and Boreal]	Forest [unspecified]	Raw materials	Timber	Global	36.08	USD/ha/yr	Sharma, N.P.	1992
695	Cultivated	Orchards	Raw materials	Raw materials [unspecified]	Shenzhen, Guangdong, China	1282.7	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
697	Cultivated	Croplands	Raw materials	Raw materials [unspecified]	Shenzhen, Guangdong, China	96.8	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
635	Grasslands	Temperate natural grasslands	Raw materials	Raw materials [unspecified]	Dutch Wadden Sea, the Netherlands	27	EUR/ha/yr	Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit	2006
344	Coastal	Shores	Extreme events	Prevention of extreme events [unspecified]	Catalonia, Spain	67400	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
359	Coastal wetlands	Salt water wetlands	Extreme events	Prevention of extreme events [unspecified]	Catalonia, Spain	766	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
390	Inland Wetlands	Wetlands [unspecified]	Extreme events	Prevention of extreme events [unspecified]	Catalonia, Spain	9037	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
401	Inland Wetlands	Riparian buffer	Extreme events	Prevention of extreme events [unspecified]	Catalonia, Spain	217	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
173	Forests [Temperate and Boreal]	Forest [unspecified]	Extreme events	Prevention of extreme events [unspecified]	Samoa	0.3	WST/ha/yr	Mohd-Shahwahid, H.O. and R. McNally	2001
641	Forests [Temperate and Boreal]	Temperate deciduous forests	Air quality	Air quality regulation [unspecified]	Europe	700	EUR/ha/yr	Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit	2006
701	Cultivated	Orchards	Air quality	Capturing fine dust	Shenzhen, Guangdong, China	2081.4	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
702	Cultivated	Croplands	Air quality	Capturing fine dust	Shenzhen, Guangdong, China	484	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
730	Coastal wetlands	Mangroves	Air quality	Capturing fine dust	Shenzhen, Guangdong, China	1742.6	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
687	Grasslands	Tropical natural grasslands	Air quality	Capturing fine dust	Shenzhen, Guangdong, China	774.5	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
370	Forests [Temperate and Boreal]	Temperate forest general	Waste	Water purification	Catalonia, Spain	109	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
381	Grasslands	Temperate natural grasslands	Waste	Water purification	Catalonia, Spain	109	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
707	Cultivated	Orchards	Waste	Water purification	Shenzhen, Guangdong, China	1268.2	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
708	Cultivated	Croplands	Waste	Water purification	Shenzhen, Guangdong, China	1587.7	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
393	Inland Wetlands	Wetlands [unspecified]	Waste	Water purification	Catalonia, Spain	2071	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
360	Coastal wetlands	Salt water wetlands	Waste	Water purification	Catalonia, Spain	13376	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
366	Forests [Temperate and Boreal]	Temperate forest general	Climate	Climate regulation [unspecified]	Catalonia, Spain	133	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
703	Cultivated	Orchards	Climate	Climate regulation [unspecified]	Shenzhen, Guangdong, China	1742.6	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
704	Cultivated	Croplands	Climate	Climate regulation [unspecified]	Shenzhen, Guangdong, China	861.6	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
377	Grasslands	Temperate natural grasslands	Climate	Climate regulation [unspecified]	Catalonia, Spain	7	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
389	Inland Wetlands	Wetlands [unspecified]	Climate	Climate regulation [unspecified]	Catalonia, Spain	311	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
353	Urban	Urban greenspace	Climate	Climate regulation [unspecified]	Catalonia, Spain	830	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
367	Forests [Temperate and Boreal]	Temperate forest general	Water	Water [unspecified]	Catalonia, Spain	403	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
698	Cultivated	Orchards	Water	Water [unspecified]	Shenzhen, Guangdong, China	1936.2	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
699	Cultivated	Croplands	Water	Water [unspecified]	Shenzhen, Guangdong, China	580.9	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
378	Grasslands	Temperate natural grasslands	Water flows	Water regulation [unspecified]	Catalonia, Spain	5	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
392	Inland Wetlands	Wetlands [unspecified]	Water	Water [unspecified]	Catalonia, Spain	3815	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
1341	Coastal wetlands	Salt water wetlands	Water	Water Other	Tamar catchment, UK	2339.0887	GBP/ha/yr	Everard, M.	2009
356	Coastal	Continental Shelf Sea	Water	Water [unspecified]	Catalonia, Spain	1287	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
355	Urban	Urban greenspace	Water flows	Water regulation [unspecified]	Catalonia, Spain	15	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
372	Forests [Temperate and Boreal]	Temperate forest general	BioControl	Biological Control [unspecified]	Catalonia, Spain	5	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
383	Grasslands	Temperate natural grasslands	BioControl	Biological Control [unspecified]	Catalonia, Spain	30	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
387	Cultivated	Croplands	Genepool	Biodiversity protection	Catalonia, Spain	2053	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
348	Coastal	Seagrass/algae beds	BioControl	Biological Control [unspecified]	Catalonia, Spain	24228	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
358	Coastal	Continental Shelf Sea	BioControl	Biological Control [unspecified]	Catalonia, Spain	49	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
361	Coastal wetlands	Salt water wetlands	Genepool	Biodiversity protection	Catalonia, Spain	497	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
394	Inland Wetlands	Wetlands [unspecified]	Genepool	Biodiversity protection	Catalonia, Spain	279	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
709	Cultivated	Orchards	Genepool	Biodiversity protection	Shenzhen, Guangdong, China	2105.6	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
373	Forests [Temperate and Boreal]	Temperate forest general	Genepool	Biodiversity protection	Catalonia, Spain	2281	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
382	Grasslands	Temperate natural grasslands	Pollination	Pollination [unspecified]	Catalonia, Spain	32	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
371	Forests [Temperate and Boreal]	Temperate forest general	Pollination	Pollination [unspecified]	Catalonia, Spain	400	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
385	Cultivated	Croplands	Pollination	Pollination [unspecified]	Catalonia, Spain	20	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
388	Cultivated	Croplands	Recreation	Recreation	Catalonia, Spain	37	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
711	Cultivated	Orchards	Recreation	Recreation	Shenzhen, Guangdong, China	638.9	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
375	Forests [Temperate and Boreal]	Temperate forest general	Recreation	Recreation	Catalonia, Spain	301	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
692	Grasslands	Tropical natural grasslands	Recreation	Recreation	Shenzhen, Guangdong, China	38.7	CNY/ha/yr	Li, T., W. Li and Z. Qian	2008
362	Coastal wetlands	Salt water wetlands	Recreation	Recreation	Catalonia, Spain	64	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
395	Inland Wetlands	Wetlands [unspecified]	Recreation	Recreation	Catalonia, Spain	3474	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
403	Inland Wetlands	Riparian buffer	Recreation	Recreation	Catalonia, Spain	3385	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
345	Coastal	Shores	Recreation	Recreation	Catalonia, Spain	36687	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007
354	Urban	Urban greenspace	Recreation	Recreation	Catalonia, Spain	5266	USD/ha/yr	Brenner-Guillermo, J.	2007

ANEXO III. MODELO ECONÓMICO DE LA CIUDAD DE SANTANDER REALIZADO MEDIANTE VENSIM



**ANEXO IV. RESULTADOS: VALORES OBTENIDOS EN
EL MODELO ECONÓMICO DE SANTANDER EN VENISM**

Table Time Down

Time (Year)	"Inversiones"	Inversiones		
2000	Runs:	3.68805e+07	3.68226e+07	0
2001	Escenario 2	3.67441e+07	3.66548e+07	0
2002	Escenario	3.66074e+07	3.64844e+07	0
2003	1.vdfx	3.64706e+07	3.63114e+07	0
2004	Escenario	3.63337e+07	3.61358e+07	0
2005	0.vdfx	3.61966e+07	3.59577e+07	0
2006		3.60593e+07	3.57771e+07	0
2007		3.5922e+07	3.5594e+07	0
2008		3.57845e+07	3.54084e+07	0
2009		3.5647e+07	3.52204e+07	0
2010		3.55094e+07	3.50301e+07	0
2011		3.53718e+07	3.48374e+07	0
2012		3.52341e+07	3.46423e+07	0
2013		3.50964e+07	3.4445e+07	0
2014		3.49587e+07	3.42454e+07	0
2015		3.48211e+07	3.40436e+07	0
2016		3.46835e+07	3.38395e+07	0
2017		3.45459e+07	3.36334e+07	0
2018		3.44084e+07	3.34251e+07	0
2019		3.4271e+07	3.32147e+07	0
2020		3.41337e+07	3.30023e+07	0
2021		3.39965e+07	3.27879e+07	0
2022		3.38595e+07	3.25715e+07	0
2023		3.37226e+07	3.23532e+07	0
2024		3.3586e+07	3.2133e+07	0
2025		3.34495e+07	3.1911e+07	0
2026		3.33132e+07	3.16872e+07	0
2027		3.31771e+07	3.14616e+07	0
2028		3.30413e+07	3.12343e+07	0
2029		3.29058e+07	3.10054e+07	0
2030		3.27705e+07	3.07748e+07	0
2031		3.26356e+07	3.05427e+07	0
2032		3.2501e+07	3.0309e+07	0
2033		3.23667e+07	3.00738e+07	0
2034		3.22328e+07	2.98372e+07	0
2035		3.20993e+07	2.95992e+07	0
2036		3.19661e+07	2.93598e+07	0
2037		3.18334e+07	2.91191e+07	0
2038		3.17012e+07	2.88772e+07	0
2039		3.15694e+07	2.86341e+07	0
2040		3.1438e+07	2.83898e+07	0
2041		3.13072e+07	2.81444e+07	0
2042		3.11769e+07	2.78979e+07	0
2043		3.10471e+07	2.76504e+07	0
2044		3.09179e+07	2.74019e+07	0
2045		3.07893e+07	2.71526e+07	0
2046		3.06613e+07	2.69023e+07	0

2047	3.0534e+07	2.66512e+07	0
2048	3.04072e+07	2.63994e+07	0
2049	3.02812e+07	2.61468e+07	0
2050	3.01559e+07	2.58935e+07	0

Table Time Down

Time (Year)	"Superficie Ecosistemas"	Superficie Ecosistemas		
2000		7.91704e+08	7.91704e+08	7.91704e+08
2001	Runs:	7.9534e+08	7.93767e+08	7.86402e+08
2002	Escenario 2	7.98933e+08	7.95604e+08	7.80896e+08
2003	Escenario	8.02485e+08	7.97227e+08	7.75201e+08
2004	1.vdfx	8.05997e+08	7.98636e+08	7.69319e+08
2005	Escenario	8.0947e+08	7.99831e+08	7.63256e+08
2006	0.vdfx	8.12906e+08	8.00815e+08	7.57017e+08
2007		8.16305e+08	8.01587e+08	7.50606e+08
2008		8.19669e+08	8.0215e+08	7.44028e+08
2009		8.23e+08	8.02504e+08	7.37289e+08
2010		8.26299e+08	8.02652e+08	7.30393e+08
2011		8.29566e+08	8.02593e+08	7.23347e+08
2012		8.32804e+08	8.02331e+08	7.16155e+08
2013		8.36014e+08	8.01867e+08	7.08822e+08
2014		8.39197e+08	8.01202e+08	7.01356e+08
2015		8.42354e+08	8.0034e+08	6.93762e+08
2016		8.45487e+08	7.99281e+08	6.86044e+08
2017		8.48598e+08	7.98028e+08	6.78211e+08
2018		8.51687e+08	7.96583e+08	6.70267e+08
2019		8.54757e+08	7.94949e+08	6.62219e+08
2020		8.57808e+08	7.93128e+08	6.54072e+08
2021		8.60842e+08	7.91122e+08	6.45834e+08
2022		8.63862e+08	7.88935e+08	6.37511e+08
2023		8.66867e+08	7.86569e+08	6.29108e+08
2024		8.6986e+08	7.84027e+08	6.20633e+08
2025		8.72842e+08	7.81311e+08	6.1209e+08
2026		8.75816e+08	7.78425e+08	6.03488e+08
2027		8.78781e+08	7.75372e+08	5.94833e+08
2028		8.81741e+08	7.72154e+08	5.86129e+08
2029		8.84697e+08	7.68776e+08	5.77385e+08
2030		8.8765e+08	7.6524e+08	5.68606e+08
2031		8.90602e+08	7.6155e+08	5.59798e+08
2032		8.93554e+08	7.57709e+08	5.50967e+08
2033		8.9651e+08	7.53721e+08	5.42121e+08
2034		8.99469e+08	7.49588e+08	5.33264e+08
2035		9.02435e+08	7.45316e+08	5.24403e+08
2036		9.05408e+08	7.40906e+08	5.15543e+08
2037		9.08392e+08	7.36364e+08	5.06691e+08
2038		9.11386e+08	7.31693e+08	4.97852e+08
2039		9.14395e+08	7.26897e+08	4.89031e+08
2040		9.17418e+08	7.21978e+08	4.80235e+08
2041		9.20459e+08	7.16942e+08	4.71468e+08
2042		9.2352e+08	7.11793e+08	4.62735e+08
2043		9.26602e+08	7.06533e+08	4.54043e+08
2044		9.29707e+08	7.01168e+08	4.45394e+08
2045		9.32838e+08	6.957e+08	4.36795e+08
2046		9.35997e+08	6.90134e+08	4.2825e+08

2047	9.39186e+08	6.84475e+08	4.19764e+08
2048	9.42407e+08	6.78725e+08	4.1134e+08
2049	9.45663e+08	6.7289e+08	4.02983e+08
2050	9.48955e+08	6.66972e+08	3.94697e+08

Table Time Down

Time (Year)	"Infraestructu	Infraestructura	Verde y Azul	
2000	ra Verde y	946664	946664	946664
2001	Azul" Runs:	1.44267e+06	1.44189e+06	946664
2002	Escenario 2	1.9336e+06	1.93279e+06	946664
2003	Escenario	2.41943e+06	2.41945e+06	946664
2004	1.vdfx	2.90015e+06	2.90197e+06	946664
2005	Escenario	3.37574e+06	3.38047e+06	946664
2006	0.vdfx	3.84619e+06	3.85505e+06	946664
2007		4.3115e+06	4.32581e+06	946664
2008		4.77165e+06	4.79287e+06	946664
2009		5.22663e+06	5.25635e+06	946664
2010		5.67646e+06	5.71635e+06	946664
2011		6.12111e+06	6.173e+06	946664
2012		6.5606e+06	6.6264e+06	946664
2013		6.99493e+06	7.07668e+06	946664
2014		7.42409e+06	7.52396e+06	946664
2015		7.8481e+06	7.96835e+06	946664
2016		8.26695e+06	8.40997e+06	946664
2017		8.68065e+06	8.84893e+06	946664
2018		9.08921e+06	9.28535e+06	946664
2019		9.49264e+06	9.71934e+06	946664
2020		9.89094e+06	1.0151e+07	946664
2021		1.02841e+07	1.05805e+07	946664
2022		1.06722e+07	1.10079e+07	946664
2023		1.10552e+07	1.14333e+07	946664
2024		1.14331e+07	1.18568e+07	946664
2025		1.1806e+07	1.22785e+07	946664
2026		1.21738e+07	1.26985e+07	946664
2027		1.25365e+07	1.3117e+07	946664
2028		1.28942e+07	1.3534e+07	946664
2029		1.32469e+07	1.39495e+07	946664
2030		1.35946e+07	1.43637e+07	946664
2031		1.39373e+07	1.47767e+07	946664
2032		1.42751e+07	1.51885e+07	946664
2033		1.46078e+07	1.55993e+07	946664
2034		1.49356e+07	1.6009e+07	946664
2035		1.52585e+07	1.64178e+07	946664
2036		1.55765e+07	1.68257e+07	946664
2037		1.58895e+07	1.72327e+07	946664
2038		1.61977e+07	1.7639e+07	946664
2039		1.65009e+07	1.80446e+07	946664
2040		1.67993e+07	1.84495e+07	946664
2041		1.70929e+07	1.88537e+07	946664
2042		1.73815e+07	1.92573e+07	946664
2043		1.76654e+07	1.96604e+07	946664
2044		1.79444e+07	2.00629e+07	946664
2045		1.82186e+07	2.04649e+07	946664
2046		1.84879e+07	2.08664e+07	946664

2047	1.87525e+07	2.12675e+07	946664
2048	1.90123e+07	2.1668e+07	946664
2049	1.92672e+07	2.20681e+07	946664
2050	1.95174e+07	2.24677e+07	946664

Table Time Down

Time (Year)	"Superficie Impermeable"	Superficie Impermeable		
2000	Runs:	3.11011e+07	3.11011e+07	3.11011e+07
2001	Escenario 2	3.10805e+07	3.10811e+07	3.14246e+07
2002	Escenario	3.10526e+07	3.10564e+07	3.17536e+07
2003	1.vdfx	3.10177e+07	3.10276e+07	3.20884e+07
2004	Escenario	3.0976e+07	3.09951e+07	3.24289e+07
2005	0.vdfx	3.09277e+07	3.09594e+07	3.27755e+07
2006		3.08732e+07	3.09209e+07	3.31283e+07
2007		3.08125e+07	3.08801e+07	3.34873e+07
2008		3.07459e+07	3.08374e+07	3.38527e+07
2009		3.06737e+07	3.07932e+07	3.42247e+07
2010		3.05961e+07	3.07478e+07	3.46032e+07
2011		3.05132e+07	3.07016e+07	3.49885e+07
2012		3.04252e+07	3.0655e+07	3.53804e+07
2013		3.03323e+07	3.06083e+07	3.57792e+07
2014		3.02348e+07	3.05619e+07	3.61847e+07
2015		3.01328e+07	3.0516e+07	3.65971e+07
2016		3.00263e+07	3.04709e+07	3.70164e+07
2017		2.99157e+07	3.0427e+07	3.74425e+07
2018		2.98011e+07	3.03845e+07	3.78754e+07
2019		2.96825e+07	3.03436e+07	3.83151e+07
2020		2.95602e+07	3.03047e+07	3.87616e+07
2021		2.94343e+07	3.02679e+07	3.92147e+07
2022		2.9305e+07	3.02334e+07	3.96745e+07
2023		2.91722e+07	3.02015e+07	4.01408e+07
2024		2.90362e+07	3.01723e+07	4.06136e+07
2025		2.88971e+07	3.0146e+07	4.10928e+07
2026		2.8755e+07	3.01229e+07	4.15782e+07
2027		2.861e+07	3.0103e+07	4.20696e+07
2028		2.84622e+07	3.00865e+07	4.25671e+07
2029		2.83117e+07	3.00735e+07	4.30704e+07
2030		2.81586e+07	3.00642e+07	4.35794e+07
2031		2.8003e+07	3.00586e+07	4.40939e+07
2032		2.78449e+07	3.00569e+07	4.46137e+07
2033		2.76845e+07	3.00592e+07	4.51387e+07
2034		2.75218e+07	3.00656e+07	4.56687e+07
2035		2.73568e+07	3.0076e+07	4.62035e+07
2036		2.71898e+07	3.00906e+07	4.67428e+07
2037		2.70206e+07	3.01095e+07	4.72864e+07
2038		2.68495e+07	3.01326e+07	4.78342e+07
2039		2.66764e+07	3.01601e+07	4.83859e+07
2040		2.65014e+07	3.01919e+07	4.89413e+07
2041		2.63245e+07	3.02281e+07	4.95001e+07
2042		2.61458e+07	3.02686e+07	5.00622e+07
2043		2.59654e+07	3.03135e+07	5.06271e+07
2044		2.57832e+07	3.03628e+07	5.11948e+07
2045		2.55993e+07	3.04164e+07	5.17649e+07
2046		2.54138e+07	3.04744e+07	5.23372e+07

2047	2.52267e+07	3.05367e+07	5.29114e+07
2048	2.5038e+07	3.06033e+07	5.34873e+07
2049	2.48477e+07	3.06741e+07	5.40646e+07
2050	2.46559e+07	3.07492e+07	5.4643e+07

Table Time Down

Time (Year)	"Superficie Libre" Runs:	Superficie Libre		
2000	Libre	2.05938e+08	2.05938e+08	2.05938e+08
2001	Escenario 2	2.01827e+08	2.034e+08	2.10916e+08
2002	Escenario	1.97771e+08	2.01096e+08	2.16093e+08
2003	1.vdfx	1.93768e+08	1.99016e+08	2.21454e+08
2004	Escenario	1.89817e+08	1.97157e+08	2.26995e+08
2005	0.vdfx	1.85916e+08	1.95518e+08	2.32711e+08
2006		1.82065e+08	1.94099e+08	2.38598e+08
2007		1.78261e+08	1.92896e+08	2.4465e+08
2008		1.74503e+08	1.91909e+08	2.50862e+08
2009		1.70789e+08	1.91136e+08	2.57229e+08
2010		1.67118e+08	1.90574e+08	2.63746e+08
2011		1.63489e+08	1.90222e+08	2.70408e+08
2012		1.599e+08	1.90077e+08	2.77208e+08
2013		1.56348e+08	1.90138e+08	2.84141e+08
2014		1.52834e+08	1.90402e+08	2.91202e+08
2015		1.49355e+08	1.90866e+08	2.98384e+08
2016		1.45909e+08	1.91528e+08	3.05682e+08
2017		1.42496e+08	1.92386e+08	3.1309e+08
2018		1.39112e+08	1.93437e+08	3.20601e+08
2019		1.35758e+08	1.94678e+08	3.28209e+08
2020		1.32431e+08	1.96106e+08	3.35909e+08
2021		1.29129e+08	1.97719e+08	3.43694e+08
2022		1.25851e+08	1.99513e+08	3.51558e+08
2023		1.22595e+08	2.01486e+08	3.59494e+08
2024		1.1936e+08	2.03634e+08	3.67497e+08
2025		1.16144e+08	2.05954e+08	3.7556e+08
2026		1.12945e+08	2.08443e+08	3.83676e+08
2027		1.09762e+08	2.11098e+08	3.91841e+08
2028		1.06592e+08	2.13915e+08	4.00047e+08
2029		1.03434e+08	2.16891e+08	4.08288e+08
2030		1.00287e+08	2.20022e+08	4.16558e+08
2031		9.71477e+07	2.23304e+08	4.24851e+08
2032		9.40153e+07	2.26735e+08	4.33162e+08
2033		9.08876e+07	2.30311e+08	4.41484e+08
2034		8.7763e+07	2.34027e+08	4.4981e+08
2035		8.46394e+07	2.3788e+08	4.58137e+08
2036		8.1515e+07	2.41867e+08	4.66457e+08
2037		7.83878e+07	2.45983e+08	4.74766e+08
2038		7.52561e+07	2.50225e+08	4.83057e+08
2039		7.21176e+07	2.54588e+08	4.91326e+08
2040		6.89706e+07	2.5907e+08	4.99567e+08
2041		6.58129e+07	2.63665e+08	5.07775e+08
2042		6.26424e+07	2.68371e+08	5.15945e+08
2043		5.94571e+07	2.73183e+08	5.24073e+08
2044		5.62549e+07	2.78096e+08	5.32154e+08
2045		5.30335e+07	2.83108e+08	5.40183e+08
2046		4.97908e+07	2.88214e+08	5.48155e+08

2047	4.65245e+07	2.93411e+08	5.56068e+08
2048	4.32324e+07	2.98693e+08	5.63916e+08
2049	3.9912e+07	3.04058e+08	5.71695e+08
2050	3.65611e+07	3.095e+08	5.79403e+08

Table Time Down

Time (Year)	"Servicios	Servicios ecosistemicos		
2000	ecosistemicos	7.86086e+08	7.86086e+08	7.86086e+08
2001	" Runs:	7.89718e+08	7.88156e+08	7.80822e+08
2002	Escenario 2	7.93308e+08	7.90003e+08	7.75356e+08
2003	Escenario	7.96856e+08	7.91636e+08	7.697e+08
2004	1.vdfx	8.00365e+08	7.93056e+08	7.63861e+08
2005	Escenario	8.03835e+08	7.94265e+08	7.57842e+08
2006	0.vdfx	8.07267e+08	7.95263e+08	7.51647e+08
2007		8.10663e+08	7.96051e+08	7.45282e+08
2008		8.14024e+08	7.96631e+08	7.38751e+08
2009		8.17352e+08	7.97004e+08	7.3206e+08
2010		8.20647e+08	7.97171e+08	7.25214e+08
2011		8.23911e+08	7.97134e+08	7.18217e+08
2012		8.27146e+08	7.96894e+08	7.11077e+08
2013		8.30352e+08	7.96453e+08	7.03797e+08
2014		8.33532e+08	7.95814e+08	6.96384e+08
2015		8.36686e+08	7.94977e+08	6.88844e+08
2016		8.39816e+08	7.93946e+08	6.81182e+08
2017		8.42923e+08	7.92722e+08	6.73404e+08
2018		8.46008e+08	7.91307e+08	6.65517e+08
2019		8.49074e+08	7.89704e+08	6.57526e+08
2020		8.52122e+08	7.87916e+08	6.49438e+08
2021		8.55152e+08	7.85944e+08	6.41259e+08
2022		8.58167e+08	7.83792e+08	6.32995e+08
2023		8.61168e+08	7.81462e+08	6.24653e+08
2024		8.64157e+08	7.78957e+08	6.16238e+08
2025		8.67135e+08	7.7628e+08	6.07757e+08
2026		8.70104e+08	7.73433e+08	5.99216e+08
2027		8.73065e+08	7.70421e+08	5.90622e+08
2028		8.7602e+08	7.67245e+08	5.81981e+08
2029		8.7897e+08	7.6391e+08	5.73299e+08
2030		8.81917e+08	7.60418e+08	5.64583e+08
2031		8.84864e+08	7.56773e+08	5.55838e+08
2032		8.87811e+08	7.52978e+08	5.47071e+08
2033		8.9076e+08	7.49037e+08	5.38287e+08
2034		8.93713e+08	7.44952e+08	5.29494e+08
2035		8.96672e+08	7.40729e+08	5.20696e+08
2036		8.99639e+08	7.3637e+08	5.119e+08
2037		9.02615e+08	7.31879e+08	5.03111e+08
2038		9.05602e+08	7.27259e+08	4.94335e+08
2039		9.08603e+08	7.22515e+08	4.85577e+08
2040		9.11618e+08	7.1765e+08	4.76844e+08
2041		9.14651e+08	7.12669e+08	4.6814e+08
2042		9.17702e+08	7.07574e+08	4.5947e+08
2043		9.20775e+08	7.0237e+08	4.50839e+08
2044		9.23871e+08	6.97061e+08	4.42252e+08
2045		9.26992e+08	6.91651e+08	4.33715e+08
2046		9.3014e+08	6.86143e+08	4.25231e+08

2047	9.33318e+08	6.80542e+08	4.16805e+08
2048	9.36528e+08	6.74852e+08	4.08442e+08
2049	9.39772e+08	6.69076e+08	4.00144e+08
2050	9.43053e+08	6.63219e+08	3.91917e+08

Table Time Down

Time (Year)	"PIB" Runs:	PIB		
2000	Escenario 2	3.68805e+09	3.68226e+09	3.68226e+09
2001	Escenario	3.67443e+09	3.66548e+09	3.6581e+09
2002	1.vdfx	3.6608e+09	3.64844e+09	3.63369e+09
2003	Escenario	3.64714e+09	3.63114e+09	3.60902e+09
2004	0.vdfx	3.63348e+09	3.61358e+09	3.58411e+09
2005		3.61979e+09	3.59577e+09	3.55895e+09
2006		3.6061e+09	3.57771e+09	3.53357e+09
2007		3.59239e+09	3.5594e+09	3.50796e+09
2008		3.57868e+09	3.54084e+09	3.48212e+09
2009		3.56496e+09	3.52204e+09	3.45608e+09
2010		3.55124e+09	3.50301e+09	3.42982e+09
2011		3.53751e+09	3.48374e+09	3.40336e+09
2012		3.52378e+09	3.46423e+09	3.37671e+09
2013		3.51005e+09	3.4445e+09	3.34986e+09
2014		3.49632e+09	3.42454e+09	3.32284e+09
2015		3.4826e+09	3.40436e+09	3.29564e+09
2016		3.46888e+09	3.38395e+09	3.26827e+09
2017		3.45517e+09	3.36334e+09	3.24074e+09
2018		3.44147e+09	3.34251e+09	3.21306e+09
2019		3.42778e+09	3.32147e+09	3.18522e+09
2020		3.4141e+09	3.30023e+09	3.15725e+09
2021		3.40044e+09	3.27879e+09	3.12914e+09
2022		3.38679e+09	3.25715e+09	3.10091e+09
2023		3.37316e+09	3.23532e+09	3.07256e+09
2024		3.35955e+09	3.2133e+09	3.0441e+09
2025		3.34597e+09	3.1911e+09	3.01553e+09
2026		3.33241e+09	3.16872e+09	2.98686e+09
2027		3.31887e+09	3.14616e+09	2.95811e+09
2028		3.30536e+09	3.12343e+09	2.92927e+09
2029		3.29188e+09	3.10054e+09	2.90035e+09
2030		3.27843e+09	3.07748e+09	2.87136e+09
2031		3.26502e+09	3.05427e+09	2.84231e+09
2032		3.25164e+09	3.0309e+09	2.81321e+09
2033		3.2383e+09	3.00738e+09	2.78405e+09
2034		3.225e+09	2.98372e+09	2.75485e+09
2035		3.21174e+09	2.95992e+09	2.72561e+09
2036		3.19852e+09	2.93598e+09	2.69635e+09
2037		3.18535e+09	2.91191e+09	2.66706e+09
2038		3.17223e+09	2.88772e+09	2.63775e+09
2039		3.15915e+09	2.86341e+09	2.60843e+09
2040		3.14613e+09	2.83898e+09	2.5791e+09
2041		3.13317e+09	2.81444e+09	2.54978e+09
2042		3.12026e+09	2.78979e+09	2.52045e+09
2043		3.1074e+09	2.76504e+09	2.49114e+09
2044		3.09461e+09	2.74019e+09	2.46185e+09
2045		3.08188e+09	2.71526e+09	2.43257e+09
2046		3.06922e+09	2.69023e+09	2.40332e+09

2047	3.05663e+09	2.66512e+09	2.3741e+09
2048	3.0441e+09	2.63994e+09	2.34491e+09
2049	3.03165e+09	2.61468e+09	2.31577e+09
2050	3.01927e+09	2.58935e+09	2.28666e+09

Table Time Down

Time (Year)	"Gastos per cápita" Runs:	Gastos per cápita		
2000		11749.1	11749.1	11749.1
2001	Escenario 2	11745.6	11747.1	11754.1
2002	Escenario	11742.3	11745.3	11759.3
2003	1.vdfox	11739	11743.8	11764.9
2004	Escenario	11735.7	11742.4	11770.7
2005	0.vdfox	11732.5	11741.3	11776.7
2006		11729.4	11740.3	11783
2007		11726.4	11739.5	11789.7
2008		11723.4	11739	11796.6
2009		11720.4	11738.6	11803.8
2010		11717.5	11738.4	11811.3
2011		11714.7	11738.4	11819.1
2012		11711.9	11738.6	11827.2
2013		11709.1	11739	11835.7
2014		11706.4	11739.5	11844.5
2015		11703.8	11740.2	11853.7
2016		11701.2	11741.1	11863.2
2017		11698.6	11742.2	11873
2018		11696	11743.5	11883.3
2019		11693.5	11745	11893.9
2020		11691	11746.6	11905
2021		11688.6	11748.4	11916.4
2022		11686.2	11750.4	11928.2
2023		11683.8	11752.6	11940.5
2024		11681.4	11754.9	11953.3
2025		11679.1	11757.5	11966.4
2026		11676.8	11760.2	11980.1
2027		11674.5	11763.1	11994.2
2028		11672.2	11766.2	12008.9
2029		11670	11769.4	12024
2030		11667.8	11772.9	12039.7
2031		11665.5	11776.5	12055.9
2032		11663.3	11780.4	12072.7
2033		11661.2	11784.4	12090.1
2034		11659	11788.6	12108
2035		11656.8	11793	12126.6
2036		11654.7	11797.6	12145.8
2037		11652.5	11802.4	12165.7
2038		11650.4	11807.4	12186.2
2039		11648.2	11812.6	12207.5
2040		11646.1	11818	12229.4
2041		11644	11823.6	12252.1
2042		11641.8	11829.4	12275.6
2043		11639.7	11835.4	12299.9
2044		11637.6	11841.6	12324.9
2045		11635.5	11848.1	12350.9
2046		11633.3	11854.8	12377.6

2047	11631.2	11861.7	12405.3
2048	11629	11868.8	12433.9
2049	11626.9	11876.2	12463.5
2050	11624.7	11883.8	12494

Table Time Down

Time (Year)	"Contaminaci on	Contaminacion	Emisiones	
2000	on	1.23237e+06	1.23237e+06	1.23237e+06
2001	Emisiones"	1.3627e+06	2.09616e+06	2.09616e+06
2002	Runs:	1.48694e+06	2.94967e+06	2.9544e+06
2003	Escenario 2	1.60511e+06	3.79302e+06	3.8072e+06
2004	Escenario	1.71725e+06	4.62633e+06	4.65464e+06
2005	1.vdfx	1.82339e+06	5.4497e+06	5.49681e+06
2006	Escenario	1.92356e+06	6.26325e+06	6.33378e+06
2007	0.vdfx	2.0178e+06	7.06709e+06	7.16563e+06
2008		2.10613e+06	7.86133e+06	7.99245e+06
2009		2.18859e+06	8.64608e+06	8.81431e+06
2010		2.2652e+06	9.42146e+06	9.63127e+06
2011		2.336e+06	1.01876e+07	1.04434e+07
2012		2.40101e+06	1.09445e+07	1.12508e+07
2013		2.46025e+06	1.16925e+07	1.20535e+07
2014		2.51376e+06	1.24315e+07	1.28516e+07
2015		2.56156e+06	1.31616e+07	1.36451e+07
2016		2.60367e+06	1.38831e+07	1.44341e+07
2017		2.64013e+06	1.4596e+07	1.52186e+07
2018		2.67094e+06	1.53004e+07	1.59987e+07
2019		2.69614e+06	1.59964e+07	1.67745e+07
2020		2.71575e+06	1.66841e+07	1.75459e+07
2021		2.72978e+06	1.73636e+07	1.83131e+07
2022		2.73826e+06	1.80351e+07	1.9076e+07
2023		2.74121e+06	1.86986e+07	1.98347e+07
2024		2.73865e+06	1.93543e+07	2.05892e+07
2025		2.73058e+06	2.00022e+07	2.13395e+07
2026		2.71704e+06	2.06424e+07	2.20857e+07
2027		2.69803e+06	2.12751e+07	2.28278e+07
2028		2.67357e+06	2.19003e+07	2.35658e+07
2029		2.64367e+06	2.25181e+07	2.42996e+07
2030		2.60835e+06	2.31287e+07	2.50294e+07
2031		2.56762e+06	2.37321e+07	2.57552e+07
2032		2.52149e+06	2.43284e+07	2.64768e+07
2033		2.46997e+06	2.49177e+07	2.71944e+07
2034		2.41307e+06	2.55001e+07	2.79079e+07
2035		2.35079e+06	2.60757e+07	2.86173e+07
2036		2.28315e+06	2.66446e+07	2.93226e+07
2037		2.21015e+06	2.72067e+07	3.00238e+07
2038		2.13179e+06	2.77624e+07	3.07208e+07
2039		2.04808e+06	2.83115e+07	3.14137e+07
2040		1.95903e+06	2.88542e+07	3.21024e+07
2041		1.86462e+06	2.93906e+07	3.27869e+07
2042		1.76487e+06	2.99207e+07	3.34672e+07
2043		1.65977e+06	3.04446e+07	3.41432e+07
2044		1.54933e+06	3.09624e+07	3.48149e+07
2045		1.43353e+06	3.14742e+07	3.54822e+07
2046		1.31237e+06	3.19799e+07	3.61451e+07

2047	1.18586e+06	3.24797e+07	3.68036e+07
2048	1.05397e+06	3.29737e+07	3.74576e+07
2049	916704	3.34619e+07	3.81071e+07
2050	774053	3.39443e+07	3.8752e+07

Table Time Down

Time (Year)	"Vertidos	Vertidos incontrolados		
2000	incontrolados	0	1.97199e+07	1.97199e+07
2001	" Runs:	0	1.97199e+07	1.97199e+07
2002	Escenario 2	0	1.95915e+07	1.95915e+07
2003	Escenario	0	1.94628e+07	1.94627e+07
2004	1.vdfx	0	1.93338e+07	1.93335e+07
2005	Escenario	0	1.92045e+07	1.92038e+07
2006	0.vdfx	0	1.9075e+07	1.90738e+07
2007		0	1.89451e+07	1.89434e+07
2008		0	1.88151e+07	1.88126e+07
2009		0	1.86847e+07	1.86814e+07
2010		0	1.85542e+07	1.85499e+07
2011		0	1.84234e+07	1.8418e+07
2012		0	1.82924e+07	1.82858e+07
2013		0	1.81613e+07	1.81532e+07
2014		0	1.80299e+07	1.80203e+07
2015		0	1.78983e+07	1.78871e+07
2016		0	1.77666e+07	1.77535e+07
2017		0	1.76348e+07	1.76197e+07
2018		0	1.75028e+07	1.74855e+07
2019		0	1.73706e+07	1.7351e+07
2020		0	1.72383e+07	1.72163e+07
2021		0	1.71059e+07	1.70812e+07
2022		0	1.69734e+07	1.69459e+07
2023		0	1.68408e+07	1.68103e+07
2024		0	1.67081e+07	1.66745e+07
2025		0	1.65753e+07	1.65384e+07
2026		0	1.64424e+07	1.6402e+07
2027		0	1.63095e+07	1.62654e+07
2028		0	1.61765e+07	1.61285e+07
2029		0	1.60434e+07	1.59914e+07
2030		0	1.59103e+07	1.5854e+07
2031		0	1.57772e+07	1.57164e+07
2032		0	1.56441e+07	1.55786e+07
2033		0	1.55109e+07	1.54406e+07
2034		0	1.53777e+07	1.53024e+07
2035		0	1.52445e+07	1.51639e+07
2036		0	1.51113e+07	1.50252e+07
2037		0	1.49782e+07	1.48863e+07
2038		0	1.4845e+07	1.47472e+07
2039		0	1.47118e+07	1.46079e+07
2040		0	1.45787e+07	1.44685e+07
2041		0	1.44456e+07	1.43288e+07
2042		0	1.43126e+07	1.41889e+07
2043		0	1.41796e+07	1.40488e+07
2044		0	1.40467e+07	1.39086e+07
2045		0	1.39138e+07	1.37681e+07
2046		0	1.3781e+07	1.36275e+07

2047	0	1.36482e+07	1.34867e+07
2048	0	1.35156e+07	1.33457e+07
2049	0	1.3383e+07	1.32045e+07
2050	0	1.32505e+07	1.30631e+07

Table Time Down

Time (Year)	"Poblacion"	Poblacion		
2000	Runs:	184264	184264	184264
2001	Escenario 2	183167	183064	183064
2002	Escenario	182072	181862	181860
2003	1.vdfx	180978	180656	180653
2004	Escenario	179886	179448	179442
2005	0.vdfx	178795	178237	178227
2006		177707	177024	177008
2007		176619	175809	175786
2008		175534	174591	174560
2009		174450	173371	173331
2010		173368	172149	172099
2011		172288	170925	170863
2012		171210	169700	169624
2013		170134	168472	168382
2014		169059	167243	167138
2015		167986	166012	165890
2016		166915	164780	164639
2017		165847	163547	163385
2018		164780	162312	162129
2019		163715	161076	160870
2020		162652	159838	159608
2021		161591	158600	158344
2022		160532	157361	157077
2023		159476	156121	155807
2024		158421	154880	154535
2025		157369	153639	153261
2026		156318	152397	151984
2027		155270	151154	150705
2028		154224	149911	149424
2029		153180	148667	148141
2030		152138	147423	146855
2031		151099	146179	145568
2032		150062	144935	144278
2033		149027	143690	142986
2034		147994	142446	141692
2035		146964	141201	140396
2036		145936	139957	139099
2037		144910	138712	137799
2038		143886	137468	136497
2039		142865	136224	135194
2040		141847	134981	133889
2041		140830	133738	132582
2042		139816	132495	131273
2043		138805	131253	129962
2044		137795	130011	128650
2045		136789	128770	127336
2046		135784	127530	126020

2047	134782	126290	124703
2048	133783	125051	123383
2049	132786	123813	122063
2050	131791	122576	120740

Table Time Down

Time (Year)	"Poblacion enferma"	Poblacion enferma		
2000		19931.1	19931.1	19931.1
2001	Runs:	19877.5	20307.5	20331.5
2002	Escenario 2	19820	20671.5	20722
2003	Escenario	19758.6	21023.4	21102.8
2004	1.vdfx	19693.4	21363.3	21473.9
2005	Escenario	19624.5	21691.2	21835.4
2006	0.vdfx	19551.9	22007.5	22187.5
2007		19475.8	22312.1	22530.2
2008		19396.1	22605.3	22863.6
2009		19313	22887.3	23187.7
2010		19226.6	23158.1	23502.7
2011		19136.8	23417.9	23808.7
2012		19043.8	23666.9	24105.7
2013		18947.7	23905.3	24393.8
2014		18848.5	24133.1	24673
2015		18746.3	24350.6	24943.6
2016		18641.1	24557.8	25205.5
2017		18533	24755	25458.8
2018		18422.2	24942.3	25703.5
2019		18308.6	25119.8	25939.8
2020		18192.2	25287.7	26167.8
2021		18073.3	25446.1	26387.4
2022		17951.8	25595.2	26598.7
2023		17827.8	25735.1	26801.9
2024		17701.4	25865.9	26997
2025		17572.6	25987.9	27183.9
2026		17441.5	26101.1	27362.9
2027		17308.1	26205.8	27533.9
2028		17172.6	26301.9	27697
2029		17034.9	26389.7	27852.3
2030		16895.1	26469.3	27999.8
2031		16753.3	26540.8	28139.5
2032		16609.5	26604.4	28271.5
2033		16463.8	26660.2	28395.9
2034		16316.3	26708.3	28512.6
2035		16166.9	26748.8	28621.8
2036		16015.8	26781.9	28723.5
2037		15863	26807.7	28817.7
2038		15708.5	26826.4	28904.5
2039		15552.5	26837.9	28983.8
2040		15394.8	26842.5	29055.8
2041		15235.7	26840.3	29120.5
2042		15075.2	26831.4	29177.9
2043		14913.2	26815.9	29228
2044		14749.9	26793.8	29270.9
2045		14585.2	26765.4	29306.5
2046		14419.3	26730.7	29335.1

2047	14252.2	26689.8	29356.4
2048	14083.9	26642.9	29370.7
2049	13914.4	26589.9	29377.8
2050	13743.9	26531.1	29377.9

Table Time Down

Time (Year)	"Poblacion empleada"	Poblacion empleada		
2000		54190.2	49263.8	49263.8
2001	Runs:	53889.5	48955.4	48917.2
2002	Escenario 2	53588.6	48644.9	48568.6
2003	Escenario	53287.4	48332.4	48217.9
2004	1.vdfx	52985.9	48017.9	47865.2
2005	Escenario	52684.4	47701.7	47510.6
2006	0.vdfx	52382.6	47383.7	47154.1
2007		52080.8	47063.9	46795.7
2008		51778.8	46742.5	46435.3
2009		51476.8	46419.5	46073.1
2010		51174.8	46095	45709
2011		50872.8	45769.1	45343.1
2012		50570.8	45441.7	44975.3
2013		50268.9	45112.9	44605.8
2014		49967	44782.9	44234.4
2015		49665.2	44451.6	43861.3
2016		49363.6	44119	43486.3
2017		49062.1	43785.4	43109.6
2018		48760.7	43450.6	42731.2
2019		48459.6	43114.7	42351
2020		48158.7	42777.9	41969.1
2021		47858	42440	41585.5
2022		47557.5	42101.3	41200.2
2023		47257.3	41761.6	40813.1
2024		46957.4	41421.1	40424.4
2025		46657.8	41079.8	40034
2026		46358.5	40737.8	39641.9
2027		46059.6	40395	39248.2
2028		45761	40051.5	38852.7
2029		45462.8	39707.3	38455.6
2030		45165	39362.6	38056.9
2031		44867.6	39017.2	37656.5
2032		44570.6	38671.3	37254.5
2033		44274	38324.9	36850.8
2034		43977.9	37978	36445.5
2035		43682.2	37630.6	36038.6
2036		43387	37282.9	35630
2037		43092.3	36934.7	35219.8
2038		42798.1	36586.2	34808
2039		42504.4	36237.4	34394.6
2040		42211.2	35888.2	33979.5
2041		41918.5	35538.8	33562.9
2042		41626.4	35189.2	33144.6
2043		41334.8	34839.3	32724.8
2044		41043.8	34489.3	32303.3
2045		40753.4	34139.1	31880.2
2046		40463.5	33788.7	31455.6

2047	40174.2	33438.3	31029.4
2048	39885.6	33087.8	30601.6
2049	39597.5	32737.2	30172.3
2050	39310.1	32386.6	29741.4

Table Time Down

Time (Year)	"Poblacion en Poblacion en riesgo de pobreza			
2000	riesgo de	29332.9	31389.6	31389.6
2001	pobreza"	29149.2	31180	31195.9
2002	Runs:	28966	30970.5	31002.1
2003	Escenario 2	28783.3	30761.1	30808
2004	Escenario	28601.2	30551.7	30613.7
2005	1.vdfx	28419.6	30342.4	30419.1
2006	Escenario	28238.6	30133.1	30224.3
2007	0.vdfx	28058	29923.9	30029.4
2008		27878	29714.7	29834.2
2009		27698.5	29505.6	29638.9
2010		27519.6	29296.5	29443.4
2011		27341.1	29087.5	29247.8
2012		27163.1	28878.6	29052
2013		26985.7	28669.7	28856.1
2014		26808.7	28460.9	28660.2
2015		26632.2	28252.2	28464.1
2016		26456.2	28043.6	28267.9
2017		26280.7	27835.1	28071.7
2018		26105.7	27626.7	27875.4
2019		25931.2	27418.3	27679.1
2020		25757.1	27210.1	27482.8
2021		25583.5	27002	27286.4
2022		25410.4	26794.1	27090.1
2023		25237.8	26586.2	26893.7
2024		25065.6	26378.5	26697.3
2025		24893.9	26170.9	26501
2026		24722.7	25963.5	26304.7
2027		24552	25756.2	26108.5
2028		24381.7	25549	25912.3
2029		24211.8	25342.1	25716.2
2030		24042.4	25135.3	25520.2
2031		23873.5	24928.6	25324.3
2032		23705	24722.2	25128.4
2033		23537	24515.9	24932.7
2034		23369.5	24309.8	24737.1
2035		23202.4	24103.9	24541.6
2036		23035.7	23898.2	24346.3
2037		22869.5	23692.7	24151
2038		22703.8	23487.4	23956
2039		22538.5	23282.3	23761.1
2040		22373.6	23077.4	23566.3
2041		22209.2	22872.8	23371.7
2042		22045.3	22668.3	23177.3
2043		21881.7	22464.1	22983
2044		21718.7	22260.2	22788.9
2045		21556	22056.4	22595
2046		21393.9	21852.9	22401.3

2047	21232.1	21649.7	22207.7
2048	21070.8	21446.7	22014.4
2049	20910	21243.9	21821.2
2050	20749.5	21041.4	21628.2

ANEXO V. RESULTADOS: ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN

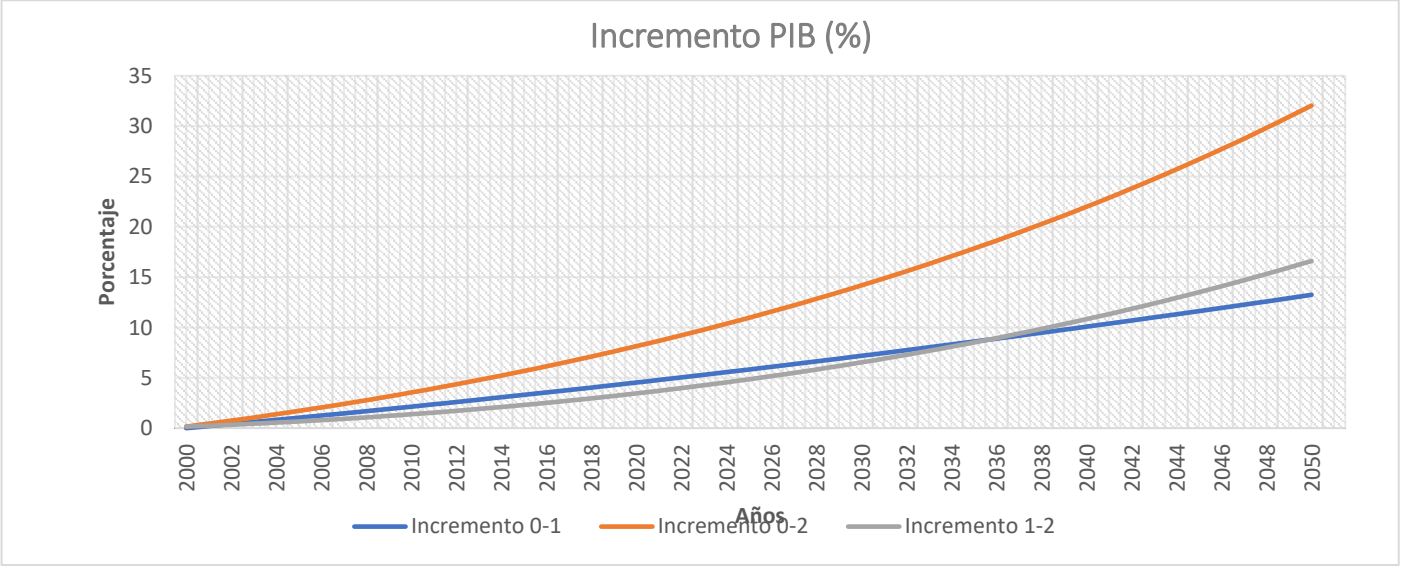
Análisis de rentabilidad de la inversión en los distintos escenarios de simulación
Autora: Esther Barrios Crespo

Time (Year)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Inversiones : Escenario 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIB : Escenario 0	3.68E+09	3.66E+09	3.63E+09	3.61E+09	3.58E+09	3.56E+09	3.53E+09	3.51E+09	3.48E+09	3.46E+09	3.43E+09	3.40E+09	3.38E+09	3.35E+09	3.32E+09	3.30E+09
Inversiones : Escenario 1	3.68E+07	3.67E+07	3.65E+07	3.63E+07	3.61E+07	3.60E+07	3.58E+07	3.56E+07	3.54E+07	3.52E+07	3.50E+07	3.48E+07	3.46E+07	3.44E+07	3.42E+07	3.40E+07
PIB : Escenario 1	3.68E+09	3.67E+09	3.65E+09	3.63E+09	3.61E+09	3.60E+09	3.58E+09	3.56E+09	3.54E+09	3.52E+09	3.50E+09	3.48E+09	3.46E+09	3.44E+09	3.42E+09	3.40E+09
Inversiones : Escenario 2	3.69E+07	3.67E+07	3.66E+07	3.65E+07	3.63E+07	3.62E+07	3.61E+07	3.59E+07	3.58E+07	3.56E+07	3.55E+07	3.54E+07	3.52E+07	3.51E+07	3.50E+07	3.48E+07
PIB : Escenario 2	3.69E+09	3.67E+09	3.66E+09	3.65E+09	3.63E+09	3.62E+09	3.61E+09	3.59E+09	3.58E+09	3.56E+09	3.55E+09	3.54E+09	3.52E+09	3.51E+09	3.50E+09	3.48E+09
Incremento PIB 0-1	0.00	0.20	0.41	0.61	0.82	1.03	1.25	1.47	1.69	1.91	2.13	2.36	2.59	2.83	3.06	3.30
Incremento PIB 0-2	0.16	0.45	0.75	1.06	1.38	1.71	2.05	2.41	2.77	3.15	3.54	3.94	4.36	4.78	5.22	5.67
Incremento PIB 1-2	0.16	0.24	0.34	0.44	0.55	0.67	0.79	0.93	1.07	1.22	1.38	1.54	1.72	1.90	2.10	2.30

Time (Year)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Inversiones : Escenario 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIB : Escenario 0	3.27E+09	3.24E+09	3.21E+09	3.19E+09	3.16E+09	3.13E+09	3.10E+09	3.07E+09	3.04E+09	3.02E+09	2.99E+09	2.96E+09	2.93E+09	2.90E+09	2.87E+09	2.84E+09
Inversiones : Escenario 1	3.38E+07	3.36E+07	3.34E+07	3.32E+07	3.30E+07	3.28E+07	3.26E+07	3.24E+07	3.21E+07	3.19E+07	3.17E+07	3.15E+07	3.12E+07	3.10E+07	3.08E+07	3.05E+07
PIB : Escenario 1	3.38E+09	3.36E+09	3.34E+09	3.32E+09	3.30E+09	3.28E+09	3.26E+09	3.24E+09	3.21E+09	3.19E+09	3.17E+09	3.15E+09	3.12E+09	3.10E+09	3.08E+09	3.05E+09
Inversiones : Escenario 2	3.47E+07	3.46E+07	3.44E+07	3.43E+07	3.41E+07	3.40E+07	3.39E+07	3.37E+07	3.36E+07	3.35E+07	3.33E+07	3.32E+07	3.31E+07	3.29E+07	3.28E+07	3.27E+07
PIB : Escenario 2	3.47E+09	3.46E+09	3.44E+09	3.43E+09	3.41E+09	3.40E+09	3.39E+09	3.37E+09	3.36E+09	3.35E+09	3.33E+09	3.32E+09	3.31E+09	3.29E+09	3.28E+09	3.27E+09
Incremento PIB 0-1	3.54	3.78	4.03	4.28	4.53	4.78	5.04	5.30	5.56	5.82	6.09	6.36	6.63	6.90	7.18	7.46
Incremento PIB 0-2	6.14	6.62	7.11	7.62	8.14	8.67	9.22	9.78	10.36	10.96	11.57	12.20	12.84	13.50	14.18	14.87
Incremento PIB 1-2	2.51	2.73	2.96	3.20	3.45	3.71	3.98	4.26	4.55	4.85	5.17	5.49	5.82	6.17	6.53	6.90

Time (Year)	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
Inversiones : Escenario 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIB : Escenario 0	2.81E+09	2.78E+09	2.75E+09	2.73E+09	2.70E+09	2.67E+09	2.64E+09	2.61E+09	2.58E+09	2.55E+09	2.52E+09	2.49E+09	2.46E+09	2.43E+09	2.40E+09	2.37E+09
Inversiones : Escenario 1	3.03E+07	3.01E+07	2.98E+07	2.96E+07	2.94E+07	2.91E+07	2.89E+07	2.86E+07	2.84E+07	2.81E+07	2.79E+07	2.77E+07	2.74E+07	2.72E+07	2.69E+07	2.67E+07
PIB : Escenario 1	3.03E+09	3.01E+09	2.98E+09	2.96E+09	2.94E+09	2.91E+09	2.89E+09	2.86E+09	2.84E+09	2.81E+09	2.79E+09	2.77E+09	2.74E+09	2.72E+09	2.69E+09	2.67E+09
Inversiones : Escenario 2	3.25E+07	3.24E+07	3.23E+07	3.21E+07	3.20E+07	3.19E+07	3.17E+07	3.16E+07	3.15E+07	3.13E+07	3.12E+07	3.11E+07	3.09E+07	3.08E+07	3.07E+07	3.06E+07
PIB : Escenario 2	3.25E+09	3.24E+09	3.23E+09	3.21E+09	3.20E+09	3.19E+09	3.17E+09	3.16E+09	3.15E+09	3.13E+09	3.12E+09	3.11E+09	3.09E+09	3.08E+09	3.07E+09	3.06E+09
Incremento PIB 0-1	7.74	8.02	8.31	8.60	8.89	9.18	9.48	9.78	10.08	10.38	10.69	10.99	11.31	11.62	11.94	12.26
Incremento PIB 0-2	15.58	16.32	17.07	17.84	18.62	19.43	20.26	21.11	21.99	22.88	23.80	24.74	25.70	26.69	27.71	28.75
Incremento PIB 1-2	7.28	7.68	8.09	8.51	8.94	9.39	9.85	10.33	10.82	11.32	11.85	12.38	12.93	13.50	14.09	14.69

Time (Year)	2048	2049	2050
Inversiones : Escenario 0	0	0	0
PIB : Escenario 0	2.34E+09	2.32E+09	2.29E+09
Inversiones : Escenario 1	2.64E+07	2.61E+07	2.59E+07
PIB : Escenario 1	2.64E+09	2.61E+09	2.59E+09
Inversiones : Escenario 2	3.04E+07	3.03E+07	3.02E+07
PIB : Escenario 2	3.04E+09	3.03E+09	3.02E+09
Incremento PIB 0-1	12.58	12.91	13.24
Incremento PIB 0-2	29.82	30.91	32.04
Incremento PIB 1-2	15.31	15.95	16.60



6 Referencias

- Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environ Pollut.*
- Ametzaga, I., Fernández de Manuel, B., & Peña-López, L. (2017). *Proyecto LIFE Anillo Verde de la Bahía de Santander*. Cátedra Unesco sobre desarrollo sostenible y educación ambiental de la UPV/EJHU.
- Anand, S., Dahiya, R., Talyana, V., & Vratb, P. (2005). Investigations of methane emissions and policy implications for China's cities: case of Nanjing. *Energy Policy*, 469-482.
- Ayto. de Santander. (2010). *Plan Estratégico Santander*.
- Ayuntamiento de Santander; PGOU Santander. (2019). *Informe de Impacto Ambiental (Informe de Sostenibilidad Ambiental)*. Santander.
- Cagno, E., Ambrigg, D., Grande, O., & Trucco, P. (2011). Risk Analysis of underground infrastructures in urban areas. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 96, 139-148.
- Censo Agrícola. (2009). *Instituto Nacional de Estadística*.
- Cepeliauskaite, G., & Stasiskiene, Z. (2020). The Framework of the Principles of Sustainable Urban Ecosystems Development and Functioning.
- COM. (2020). Estrategia de la UE sobre la biodiversidad de aquí a 2030., (p. 380 final). Bruselas.
- Comisión Europea. (2013). *Comunicación de la Comisión sobre “Infraestructura verde: mejora del capital natural de Europa”*. Bruselas: COM. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:->
- Comisión Europea. (2014). Objetivos para 2030 en materia de clima y energía en favor de una economía competitiva, segura y baja en carbono en la UE. Bruselas.
- Comisión Europea. (n.d.). Objetivos para 2030 en materia de clima y energía en.
- Crossman, N., B. Burkhad, S., Nedkov, S., Petz, K., Alkemade, R., Willems, L., . . . B. Martín-López, e. a. (2013). A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services*, 4-14.
- De los Ríos, A., Echavarri-Erasun, B., Dévier, M., LeMenachb, H., Budzinski, H., Ortiz-Zarragoitia, M., . . . Cajarville, M. (2018). Assessment of the effects of discontinuous sources of contamination through biomarker analyses on caged mussels. *Total Environ*, 634, 116-126.
- Douglas, I. (2012). Urban ecology and urban ecosystems: understanding the links to human health and well-being. *Curr Opin Environ Sustain.*



- Du, L., Li, X., Zhao, H., Ma, W., & Jiang, P. (2018). System dynamic modeling of urban carbon emissions based on the National Economy and Social Development Plan: A case study of Shanghai city. *Journal of Cleaner Production* 172, 1501-1513.
- Dyson, B., & Chang, N. (2005). Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*, 669-679.
- Echavarri-Erasun, B., Juanes, J., García-Castrillo, G., & Revilla, J. (2007). Medium-term responses of rocky bottoms to sewage discharges through a deepwater outfall in the NE Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 941-954.
- Echavarri-Erasun, B., Juanes, J., Puente, A., & Revilla, J. (2010). Coastal outfalls, a sustainable alternative for improving water quality in north-east Atlantic estuaries. *Environ*, 12, 1737-1746.
- Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S., van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J., . . . Kronenberg, J. a. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas.
- Escobedo, F., Kroeger, T., & Wagner, J. (2011). Urban forests and pollution mitigation: analyzing ecosystem services and disservices. *Environ Pollut*.
- European Comission. (2012). *The Multifunctionality of Green Infrastructure*.
- Feng, Y. Y., Chen, S. Q., & Zhang, L. X. (2012). System dynamics modeling for urban energy consumption and CO2 emissions: A case study of Beijing, China. *Ecological Modelling*, 1.
- Foro Económico Mundial. (2020). *Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy*.
- Forrester, J. W. (1969). *Urban Dynamics*. Cambridge: The MIT Press.
- Foster, J., Lowe, A., & Winkelman, S. (2011). *The value of green infrastructure for urban climate adaptation*.
- Fuller, R. A., Irvine, K. N., Devine-Wright, P., Warren, P. H., & Gaston, K. J. (2007). Psychological benefits of greenspace increase in biodiversity. *Biol Lett*.
- Geddes, P. (1915). *Cities in evolution: an introduction to the town planning movement and to the study of civics*. London: Williams & Norgate.
- Getter, K., & Rowe, D. (2016). The role of green roofs in sustainable development. *HortScience* 41, 1276-1286.
- Giljum, S., Hinterberger, F., Burger, E., Frühmann, J., Lutter, S., Pirgmaier, E., . . . Kernegger, L. (2020). Overconsumption? Our use of ther World's Natural Resources.
- Gill, S., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environ*, 115-133.



- Gill, S., Handley, J., Ennos, A., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of green infrastructure. *Built Environ* 33, 115-133.
- Gobierno de Cantabria. (2017). Cambio Climático. In *Avance del PROT*.
- Gobierno de Cantabria. (2017). Patrimonio territorial. In G. d. Cantabria, *Avance del Plan Regional de Ordenación Territorial*.
- Gobierno de España. (2020). *Agenda 2030*. Retrieved from <https://www.agenda2030.gob.es/objetivos/objetivo8.htm>
- Gobierno de España: Vicepresidencia Cuarta del Gobierno y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Estrategia Nacional ed Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas*.
- Gómez, A. V. (2019). Mapping the environmental risk assesment of marinas on water quality: The Atlas of the Spanish coast. *Marine Pollutant Bullet*, 139, 355-365.
- González, F. (2009). El mayor estuario del Cantábrico. *Garcilla: Revista de observación y defensa de las aves*, 26-27.
- Grove, J. M. (2009). Cities: Managinf densely settled social-ecological systems. In *Principles of Ecosystem Stewardship* (pp. 281-294). New York: Springer.
- Guan, D., Gao, W., Su, W., Li, H., & Hokao, K. (2011). Modeling and dynamic assesment of urban economy-resource-environment system with a coupled system dynamics-geographic information system model. *Ecological Indicators*.
- Güneralpa, B., & Seto, K. (2008). Environmental impacts of urban growth from an integratd dynamic perspective: a case study of Shenzhen. *South China Global Environ. Change.*, 720-735.
- Guo, H., Liu, L., Huang, G., Fuller, G., Zou, R., & Yin, Y. (2001). A system dynamics approach for regional environmental planning and management: a study for Lake Erhai Basin. *Journal of Environmental Management*, 93-111.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2013). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES):*. EEA Framework Contract.
- ICANE. (30 de Enero de 2020). *Distribución municipal de la renta bruta estimada y per cápita estimada. Serie homogénea 2011*. Obtenido de <https://www.icanes.es/data/municipal-gross-income-estimated>
- ICANE. (2020). *Padrón municipal de habitantes a 1 de enero*.
- ICANE. (26 de Enero de 2021). *Viajeros, pernoctaciones, estancia media, grados de ocupación, establecimientos y plazas según categorías y zonas*. Obtenido de <https://www.icanes.es/data/travelers-overnight-stays-average-stays-occupancy-establishment-places-categories-areas#timeseries>

- INE. (26 de Junio de 2018). *Encuesta Nacional de Salud*. Obtenido de <https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t15/p419/a2017/p03/&file=04018.px>
- INE. (2019). *Contabilidad Regional de España*.
- INE. (2019). Encuesta de Presupuestos Familiares. *Gasto medio por hogar, gasto medio por persona y distribución del gasto*.
- INE. (12 de Noviembre de 2020). *Cuenta de emisiones a la atmósfera. Resultados*. Obtenido de https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176941&menu=resultados&idp=1254735976603
- INE. (21 de Julio de 2020). *Encuesta de condiciones de vida. Últimos datos*. Obtenido de https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176807&idp=1254735976608
- INE. (22 de Octubre de 2020). *Indicadores de Calidad de Vida*. Obtenido de https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INEPublicacion_C&cid=1259937499084&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayout¶m1=PYSDetalleGratis
- INE. (28 de Enero de 2021). *Encuesta de población activa. Últimos datos*. Obtenido de https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176918&menu=ultiDatos&idp=1254735976595
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany: IPBES.
- Jim, C., & Chen, W. (2008). Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou, China. *J. Environ. Manag.* 88, 665-676.
- Juanes, J. A., Gómez, A., Rubio, S., García-Castrilo, G., Puente, A., Ondivela, B., & Medina, R. (2020). Santander Bay: Multiuse and multiuser socioecological space. *Regional Studies in Marine Science*, 34, 101034.
- Kaye, J., Groffamn, P., Grimm, N., Baker, L., & Pouyat, R. (2016). A distinct urban biogeochemistry? *Trends Ecol Evol*, 192-199.
- Lawrence, R. (2001). Human Ecology. *Our fragile world: Challenges and Opportunities for Sustainable Development.*, 675-693.
- Li, F., Wang, R., & Zhao, D. (2014). Urban ecological infrastructure based on ecosystem services: status, problems and perspectives. *Acta Ecol. Sin.* 34, 190-200.
- Lipton, D., Rubenstein, M., Weiskopf, S., Carter, S., Peterson, J., Crozier, L., . . . Weltzi. (2018). Ecosystems, Ecosystem Services, and Biodiversity. In USGCRP, D. Reidmiller, C. Avery, D. Easterling, K. Kunkel, K. Lewis, T. Maycock, & B. Stewart (Eds.), *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth*

National Climate Assessment (Vol. II, pp. 259–312). Washington, DC, USA: U.S. Global Change Research Program, Washington D.C.
 doi:10.7930/NCA4.2018.CH7

- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2014). *Orden AAA/1260/2014, de 9 de julio, por la que se declaran Zonas de Especial Protección para las Aves en aguas marinas españolas*. Boletín Oficial del Estado. Retrieved 12 2020, from <https://www.boe.es/boe/dias/2014/07/17/pdfs/BOE-A-2014-7576.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2004). *Pérdida de suelo y superficie según niveles erosivos*. Cantabria.
- Mitchell, R., & Popham, F. (2008). Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. *Lancet*.
- Naciones Unidas. (2015, Septiembre 25). *Noticias ONU*. Retrieved from <https://news.un.org/es/story/2015/09/1340191>
- Naumann, S., McKenna, D., Kaphengst, T., Pieterse, M., & Rayment, M. (2011). Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects: Final report. Brussels: European Comission.
- OECD. (2019). *Biodiversity: Finance and the Economic and Business Case for Action*. report prepared for the G7 Environment Ministers' Meeting.
- Organización para las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019). *Resumen para responsables de formular políticas*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Pataki, D., Carreiro, M., Cherrier, J., Grulke, N. E., Jennings, V., Pincetl, S., . . . Zipperer, W. (2011). Coupling biogeochemical cycles in urban environment: ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Front Ecol Environ*, 9:27-36.
- Rehan, R., Knight, M., Haas, C., & Unger, A. (2011). Applications of system dynamics for developing finalcially self-sustaining management policies for water and wastewater systems. *Water Research*, 4737-4750.
- Remondou, K., Diaz-Simal, P., Koundouri, P., & Rulleau, B. (2015). Valuting climate change mitigation: Achoice experiment on a coastal and marine ecosystem. *Ecosystem Services*, 11, 87-94.
- Saysel, A. K., & Barlas, Y. (2001). A dynamic model of salinization on irrigated lands. *Ecological Modeling*, 177-199.
- SCBD. (2014). *Global Biodiversity Outlook 4*. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Retrieved from <http://www.emdashdesign.ca>

- Schewenius, M., McPhearson, T., & Elmqvist, T. (2014). Opportunities for Increasing Resilience and Sustainability of Urban Social-Ecological Systems: Insights from the URBES and the Cities and Biodiversity Outlook Projects.
- Seto, K., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. (2011). *A meta analysis of global urban land expansion*.
- Sijtsma, F., Sjerp de, V., Hinsberg, A., & Diederiks, J. (2012). Does "grey" urban living lead to more green holiday nights? A Netherlands case study. *Landsc. Urban Plan.* 105, 250-257.
- Stave, K. (2003). A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. *Journal of Environmental Management*, 303-313.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., Bennett, E., . . . Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, Vol. 347/6223, 1259855-1259855. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stiglitz, J., Sen, A., & Fitoussi, J. (2009). *Informe de la Comisión sobre la Medición del Desarrollo Económico y del Progreso Social*.
- Suryani, E., Chou, S., & Chen, C. (2010). Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: a system dynamics framework. *Expert Systems with Applications*, 2324-2339.
- System, I. (2006). *Technical Document for the iThink and STELLA Software*.
- Tesorería General de la Seguridad Social (TGSS). (2020). *ICANE*. Retrieved from <https://www.icane.es/data/social-security-affiliation-municipalities-activity-sectors-gender/results>
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kázmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: a literature review. *Landscape Urban Plan* 81, 167-178.
- Unión Europea. (2019, abril 17). REGLAMENTO (UE) 2019/631 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. Diario Oficial de la Unión Europea.
- United Nations, D. O. (2012). *World Urbanization Prospects*.
- Van del Ploeg, S., & de Groot, R. (2010). *The TEEB Valuation Database - a searchable database 1310 estimates of monetary values of ecosystem services*. Wageningen, The Netherlands: Foundation for Sustainable Development.
- Villatoro, M., Silva, R., Méndez, F., Zanuttigh, B., Pan, S., Trifonova, E., . . . Eftimova, P. (2014). An approach to assess flooding and erosion risk for open beaches in a changing climate. *Coastal Engineering*, 87, 50-76.

- Wang, R., Li, F., Han, B., Huang, H., & Yin, K. (2014). Urban eco-complex and ecospace managment. *Acta Ecol. Sin.* 34, 1-11.
- World Economic Forum. (2020). *The Global Risks Report 2020*.
- WWF. (2018). *Informe Planeta Vivo - 2018: Apuntando más alto*. Gland, Suiza: Grooten, M. y Almond, R.E.A.
- Yuan, X. H., Ji, X. C., Chen, B., & Chen, G. Q. (2008). Urban dynamics and multiple.objective programming: a case study of Beijing. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 13, 1998-2017.
- Zarghami, M., & Akbariyeh, S. (2012). System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. *Resources, Conservation and Recycling* 60, 99-106.
- Zhao, W., Ren, H., & Rotter, V. (2011). A system dynamic model for evaluating the alternativa of type in construction and demolition waste recycling center - The case of Chongqing, China. *Conservation and Recycling*, 55, 933-944.

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Esquema representativo de las causas, actores y presiones que afectan al estado global de la biodiversidad y a la producción de servicios ecosistémicos.....	1
Ilustración 2. Tipos y ejemplos de servicios ecosistémicos.	2
Ilustración 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible.	3
Ilustración 4. Mapa de las interrelaciones entre los riesgos globales 2020.....	5
Ilustración 5. Funciones de la naturaleza en las ciudades.	6
Ilustración 6. Inundación en la playa de El Sardinero.	8
Ilustración 7. Aeropuerto Seve Ballesteros-Santander junto a la Bahía.....	9
Ilustración 8. Funciones de la Infraestructura Verde Urbana.	13
Ilustración 9. Elementos y funciones de la infraestructura verde en las ciudades.....	14
Ilustración 10. Jardín vertical del Musée du Quai Branly.	15
Ilustración 11. Elementos de la infraestructura verde en la ciudad.	16
Ilustración 12. Infraestructura verde en Rotterdam.	18
Ilustración 13. El proceso continuo de la restauración de ecosistemas.	19
Ilustración 14. El sistema del metabolismo urbano.	22
Ilustración 15. Efecto isla de calor urbana.	23
Ilustración 16. Servicios ecosistémicos proporcionados por la infraestructura verde....	24
Ilustración 17. Abeja polinizadora.....	25
Ilustración 18. Cuneta verde regulando la escorrentía superficial ocasionada por las precipitaciones pluviales	26
Ilustración 19. Huerto urbano en la azotea del Hotel Wellington, Madrid.	27
Ilustración 20. Cubierta verde del Ayuntamiento de Chicago (EEUU).	28
Ilustración 21. Diagrama conceptual explicativo del funcionamiento de las superficies impermeables y permeable, respectivamente.	29
Ilustración 22. Área de estudio.	30
Ilustración 23. LIC ES 1300005 Dunas del Puntal y Estuario del Miera.	31
Ilustración 24. Zonas protegidas por la Red Natura 2000: LIC (en amarillo) y ZEPA (en azul).	32
Ilustración 25. Humedal del parque de las llamas.	37
Ilustración 26. Playa de Mataleñas.	41
Ilustración 27. Gráfica del PIB regional per cápita en el año 2019.....	42
Ilustración 28. Mariscador en la Bahía de Santander.	43
Ilustración 29. Ferry que une Santander con Irlanda atracado en la Bahía.	44
Ilustración 30. Puerto de Santander.....	45
Ilustración 31. Playa de Los Peligros en la Bahía de Santander.	46
Ilustración 32. Mapa de las áreas costeras con probabilidad media de inundación en 100 años (en amarillo).	47
Ilustración 33. Evolución de los indicadores de calidad de vida por dimensiones en Cantabria en los años 2008, 2013 y 2019.....	49
Ilustración 34. Ventana de configuración de los parámetros temporales del modelo. ...	55
Ilustración 35. Diagrama de Forrester Vensim PLE.....	56
Ilustración 36. Diagrama Forrester de Población en Vensim.	56
Ilustración 37. Sistema Población en Vensim.	57

Ilustración 38. Sistema de Contaminación en Vensim.	58
Ilustración 39. Diagrama de Forrester de la distribución de la superficie.	59
Ilustración 40. Diagrama del cómputo de la superficie total.	60
Ilustración 41. Diagrama representativo del servicio ecosistémico “Polinización”.	61
Ilustración 42. Diagrama representativo del servicio ecosistémico "Purificación del agua".	61
Ilustración 43. Diagrama causal representativo del ámbito económico.	62

Índice de gráficas

Gráfica 1.a) Superficie ecosistemas 1.b) Superficie impermeabilizada. 1.c) Superficie libre y 1.d) Infraestructura verde y azul para el escenario 0.....	76
Gráfica 2. Evolución de la población para el escenario 0.	77
Gráfica 3.a) Evolución de nacimientos y 3.b) muertes en el escenario 0.....	77
Gráfica 4.a) Evolución de las emisiones de CO ₂ equivalente y 4.b) Evolución de vertidos incontrolados para el escenario 0.	78
Gráfica 5. Representación de la evolución de la tasa de degradación de ecosistemas para el escenario 0.	78
Gráfica 6. Representación de la evolución de la producción de servicios ecosistémicos en el escenario 0.	79
Gráfica 7.a) Evolución del servicio ecosistémico "Alimento" y 7.b) Evolución del servicio ecosistémico "Polinización" para el escenario 0.	79
Gráfica 8.a) Evolución del PIB ajustado y 8.b) Evolución del PIB per cápita en el escenario 0.	80
Gráfica 9.a) Evolución de la población en riesgo de pobreza y 9.b) Evolución de la tasa de población en riesgo de pobreza para el escenario 0.....	80
Gráfica 10. Evolución de los gastos per cápita anuales para el escenario 0.....	81
Gráfica 11.a) Evolución de la población activa y 11.b) Evolución de la población empleada para el escenario 0.	81
Gráfica 12.a) Evolución de la población enferma y 12.b) Evolución de la tasa de morbilidad hospitalaria para el escenario 0.	82
Gráfica 13.a) Evolución de la tasa de enfermos por contaminación y 13.b) Evolución de la tasa de enfermedad por sedentarismo para el escenario 0.	82
Gráfica 14. Evolución del servicio ecosistémico "Uso recreativo" para el escenario 0.	83
Gráfica 15.a) Evolución de la población afectada por ruido y 15.b) Evolución de la tasa de afección por ruido para el escenario 0.	83
Gráfica 16. Evolución de la superficie afectada por el efecto isla de calor para el escenario 0.	84
Gráfica 17.a) Evolución de la superficie de ecosistemas y 17.b) Superficie impermeabilizada para los escenarios 0 y 1.	84
Gráfica 18.a) Evolución de la superficie libre y 18.b) Evolución de la Infraestructura verde y azul para los escenarios 0 y 1.	85
Gráfica 19.a) Evolución de la tasa de natalidad y 19.b) Evolución de la tasa de mortalidad para los escenarios 0 y 1.....	85
Gráfica 20. Evolución de la producción de servicios ecosistémicos para los escenarios 0 y 1.	86
Gráfica 21.a) Evolución del servicio ecosistémico "Alimento" y 21.b) Evolución del servicio ecosistémico "Polinización" para los escenarios 0 y 1.	86
Gráfica 22.a) Evolución del PIB ajustado y 22.b) Evolución del PIB per cápita para los escenarios 0 y 1.	87
Gráfica 23.a) Evolución de la contaminación por emisiones de CO ₂ equivalente y 23.b) Evolución de la capacidad de absorción de contaminantes del medio para los escenarios 0 y 1.	87

Gráfica 24. Evolución de la tasa de población en riesgo de pobreza para los escenarios 0 y 1.	88
Gráfica 25. Evolución de los gastos per cápita anuales para los escenarios 0 y 1.	88
Gráfica 26. Evolución de la población empleada para los escenarios 0 y 1.	89
Gráfica 27.a) Evolución de la población enferma, 27.b) Evolución de la tasa de morbilidad hospitalaria, 27.c) Evolución de la tasa de enfermos por contaminación y 27.d) Evolución de la tasa de enfermedad por sedentarismo para los escenarios 0 y 1.	89
Gráfica 28. Evolución del servicio ecosistémico "Uso recreativo" para los escenarios 0 y 1.	90
Gráfica 29. Evolución de la tasa de afección por ruido para los escenarios 0 y 1.	90
Gráfica 30. Evolución de la superficie impermeabilizada afectada por el efecto isla de calor para los escenarios 0 y 1.	91
Gráfica 31.a) Evolución de la superficie de ecosistemas, 31.b) Evolución de la superficie impermeable, 31.c) Evolución de la superficie libre y 31.d) Evolución de la infraestructura verde y azul para los escenarios 0, 1 y 2.	92
Gráfica 32. Evolución de la población para los escenarios 0, 1 y 2.	93
Gráfica 33.a) Evolución de los nacimientos y 33.b) Evolución de las muertes para los escenarios 0, 1 y 2.	93
Gráfica 34. Evolución de la producción de servicios ecosistémicos para los escenarios 0, 1 y 2.	94
Gráfica 35.a) Evolución de la producción del servicio ecosistémico "Alimento" y 35.b) Evolución de la producción del servicio ecosistémico "Polinización" para los escenarios 0, 1 y 2.	94
Gráfica 36.a) Evolución del PIB ajustado y 36.b) Evolución del PIB per cápita para los escenarios 0, 1 y 2.	95
Gráfica 37.a) Evolución de las emisiones contaminantes de CO ₂ equivalente y 37.b) Evolución de la tasa de degradación de ecosistemas para los escenarios 0, 1 y 2.	95
Gráfica 38. Evolución de la población en riesgo de pobreza para los escenarios 0, 1 y 2.	96
Gráfica 39. Evolución de los gastos per cápita anuales para los escenarios 0, 1 y 2.	96
Gráfica 40.a) Evolución del gasto en alimentación per cápita anual y 40.b) Evolución del gasto en vivienda, energía y agua per cápita anual para los escenarios 0, 1 y 2.	97
Gráfica 41. Evolución de la población empleada para los escenarios 0, 1 y 2.	97
Gráfica 42.a) Evolución de la población enferma, 42.b) de la tasa de morbilidad hospitalaria, 42.c) de la tasa de enfermos por contaminación y 42.d) de la tasa de enfermedad por sedentarismo para los escenarios 0, 1 y 2.	98
Gráfica 43. Evolución del servicio ecosistémico "Uso recreativo" para los escenarios 0, 1 y 2.	98
Gráfica 44. Evolución de la tasa de afección por ruido para los escenarios 0, 1 y 2.	99
Gráfica 45. Evolución de la superficie impermeabilizada afectada por el efecto isla de calor para los escenarios 0, 1 y 2.	99

Índice de tablas

Tabla 1. Usos del suelo.....	30
Tabla 2. Servicios ecosistémicos de los bosques y matorrales.....	34
Tabla 3. Servicios ecosistémicos proporcionados por los cultivos.	35
Tabla 4. Servicios ecosistémicos proporcionados por los prados.	36
Tabla 5. Servicios ecosistémicos proporcionados por las aguas continentales.	38
Tabla 6. Servicios ecosistémicos proporcionados por humedales y estuarios.	39
Tabla 7. Servicios ecosistémicos proporcionados por los ecosistemas costeros.....	40
Tabla 8. Valores medios de las tasas de actividad, paro y empleo.....	65
Tabla 9. Valores de las distintas tasas de morbilidad.	66
Tabla 10. Valores de emisiones y cantidad de vehículos.	67
Tabla 11. Valores de las tasas de generación de residuos, de tratamiento de residuos y de vertido.....	67
Tabla 12. Tipologías de superficie en porcentaje del área de estudio.	68
Tabla 13. Tasas de conversión de superficies.....	69
Tabla 14. Superficies según cualificación de la erosión.....	69
Tabla 15. Tasa de regulación térmica.....	70
Tabla 16. Tipologías de ecosistemas presentes en el área de estudio en porcentaje del área total de ecosistemas.	70
Tabla 17. Tipologías de infraestructura verde en el área de estudio como porcentaje de la infraestructura verde total.....	70
Tabla 18. Sistemas ecosistémicos y los ecosistemas que los proporcionan.	71
Tabla 19. Análisis de sensibilidad PIB.....	100
Tabla 20. Análisis de sensibilidad de la superficie de ecosistemas.....	101
Tabla 21. Análisis de sensibilidad de los servicios ecosistémicos.	101
Tabla 22. Análisis de sensibilidad de la variable población.....	102
Tabla 23. Resultados numéricos de los valores de las inversiones y el PIB para el escenario 1 de simulación.....	103
Tabla 24. Resultados numéricos de los valores de las inversiones y del PIB para el escenario 2 de simulación.....	103
Tabla 25. Porcentajes de incremento del PIB como consecuencia de las actuaciones desarrolladas en cada escenario de simulación.....	104